¿Cómo nace una borrasca? ¿Qué son las líneas isobaras? ¿Es fácil interpretar un mapa meteorológico? ¿Qué es la gota fría? ¿Y la burbuja caliente?
Responder puntualmente a estas preguntas no implica, necesariamente, introducir al lector en una larga lista de términos técnicos, ni tener que recurrir a explicaciones basadas en teorías científicas difíciles.
El autor ha hecho de este libro un precioso instrumento de divulgación con la pretensión de desmitificar las predicciones del tiempo y darle la importancia real que hoy día ocupa la meteorología en todas las actividades humanas, desde la producción de los alimentos hasta la conservación de la vida en sí.

Mariano Medina nació en 1922 en Toledo y a partir de 1965 presentó durante varios años los diversos espacios meteorológicos de Televisión Española. Es profesor del Instituto Nacional de Meteorología y autor de varios libros, entre los que destacan *El tiempo es noticia* y *Teoría de la predicción del tiempo*.

Iniciación a la meteorología

M. Medina

45



Iniciación a la meteorología

Mariano Medina

Biblioteca Científica Salvat


BRIAN SMITH





Iniciación a la meteorología

Biblioteca
Científica
Salvat



Iniciación a la meteorología

Mariano Medina

SALVAT

Diseño de cubierta: Ferran Cartes / Montse Plass

Especialmente revisada y puesta al día
por el autor para la presente colección
Ilustraciones de Summers
Figuras técnicas de Carlos Zabaleta

ISBN: 84-345-8880-3 (Obra completa)
ISBN: 84-345-8925-7 (Volumen 45)
Depósito Legal: B-12588-1994
Publicada por Salvat Editores, S.A., Barcelona
Impresa por Printer, i.g.s.a., Mayo 1994
Printed in Spain

ÍNDICE

A Carmen, mi mujer; y a Mariano,
M.ª del Carmen, M.ª Teresa, Fernando,
José Luis, Francisco Javier, Carlos,
M.ª Paloma, Alberto y Enrique, nuestros hijos.

PRÓLOGO

Este libro no está pensado para los profesionales, sino para el público en general. Para que puedan entender mejor esos mapas del tiempo que ven en la pantalla de su televisor o en el periódico; para que puedan interpretar más acertadamente las frases de los boletines meteorológicos que oyen por la radio; para que puedan hablar del tiempo, no como un recurso cuando languidece la conversación, sino en la tertulia con los amigos o a la hora de tomar decisiones de sembrar o regar con fundamento.

Este libro es para ti, hombre del campo; para ti, hombre de la ciudad; para ti, hombre del mar o del aire; quienquiera que seas, si alienta en ti algún interés por saber de la lluvia y el viento, del Sol y las nubes, de las olas del mar, de los baches del aire..., este libro podrá servirte de amigo que explica y razona. O que lo pretende, al menos, con la mejor voluntad.

Es para ti, amigo. Léelo; y ojalá que cuando lo acabes no consideres malgastado tu dinero y tu tiempo.

NO ES DIFÍCIL ENTENDER EL TIEMPO

Un amigo mío asegura que no hay cosas difíciles: o son fáciles o son imposibles. Yo creo, también, que todo es fácil si se lo explican a uno adecuadamente. Desde un punto de vista científico, que es el único razonable, el tiempo no tiene nada de misterioso; no es una ciencia oculta sino razonada, es *de verdad* una ciencia, aunque el pronóstico tenga su parte de arte. Todos

sus métodos de estudio y de trabajo están expuestos a la curiosidad o al afán de saber general. Se ha dicho muchas veces que la meteorología es una ciencia difícil. Entendámonos: es difícil en el sentido de que su campo de experimentación es enorme, nada menos que toda la atmósfera. Las variables que intervienen en la evolución y en las características del tiempo son muchas, demasiadas para nuestros medios actuales de trabajo, a pesar de las calculadoras y computadores electrónicos. Cuando acaben ustedes de leer este libro, si es que tienen la paciencia o el interés suficiente, quizás les venga a las mentes una pregunta lógica: «Bueno, si todo es tan claro y razonable, ¿cómo es que los pronósticos del tiempo salen mal a veces?» La respuesta está en la gran cantidad de esas variables: *«Es imposible, hoy por hoy, tener en cuenta todas las variables que influyen en la evolución del tiempo atmosférico.»* Siempre hay que *simplificar* o prescindir de algunas que *parece* van a ser *casi* invariables, hay que *hacer hipótesis*. En resumen, el predictor del tiempo hace lo que el novelista: trata de ajustar a la realidad las reacciones de sus personajes; pero siempre se escapan cosas que hacen que, al final, lo que salga no sea historia sino novela.

NUESTRO SOMBRERO DE PRESTIDIGITADOR

Tengo la intención de que este pequeño libro resulte grato de leer y fácil de entender. No de que sea un libro formal ni clásico. En él se va a tratar de exponer lo más fundamental de la ciencia del tiempo. Pero se va a parecer muy poco —o nada— a un libro de texto o a uno de tantos libros de divulgación al uso. No se trata de dogmatizar; ni tampoco de transcribir un texto de meteorología poniéndolo facilito. Se trata de que queden claros los conceptos fundamentales de los fenómenos que intervienen decisivamente en la evolución del tiempo, de los fenómenos que ocurren en el seno del aire. Siempre que podamos, trataremos de partir de los mapas del tiempo, que son los que ustedes pueden ver cada día en las pantallas de sus televisores. Los mapas del tiempo, en sus distintos tipos, harán aquí el papel del sombrero de un prestidigitador. De ellos irán saliendo, por virtud de la magia del razonamiento lógico, todos los conceptos. Y cuando no podamos partir de ellos, a ellos iremos a parar al final, para establecer siempre una relación de causa a efecto en-



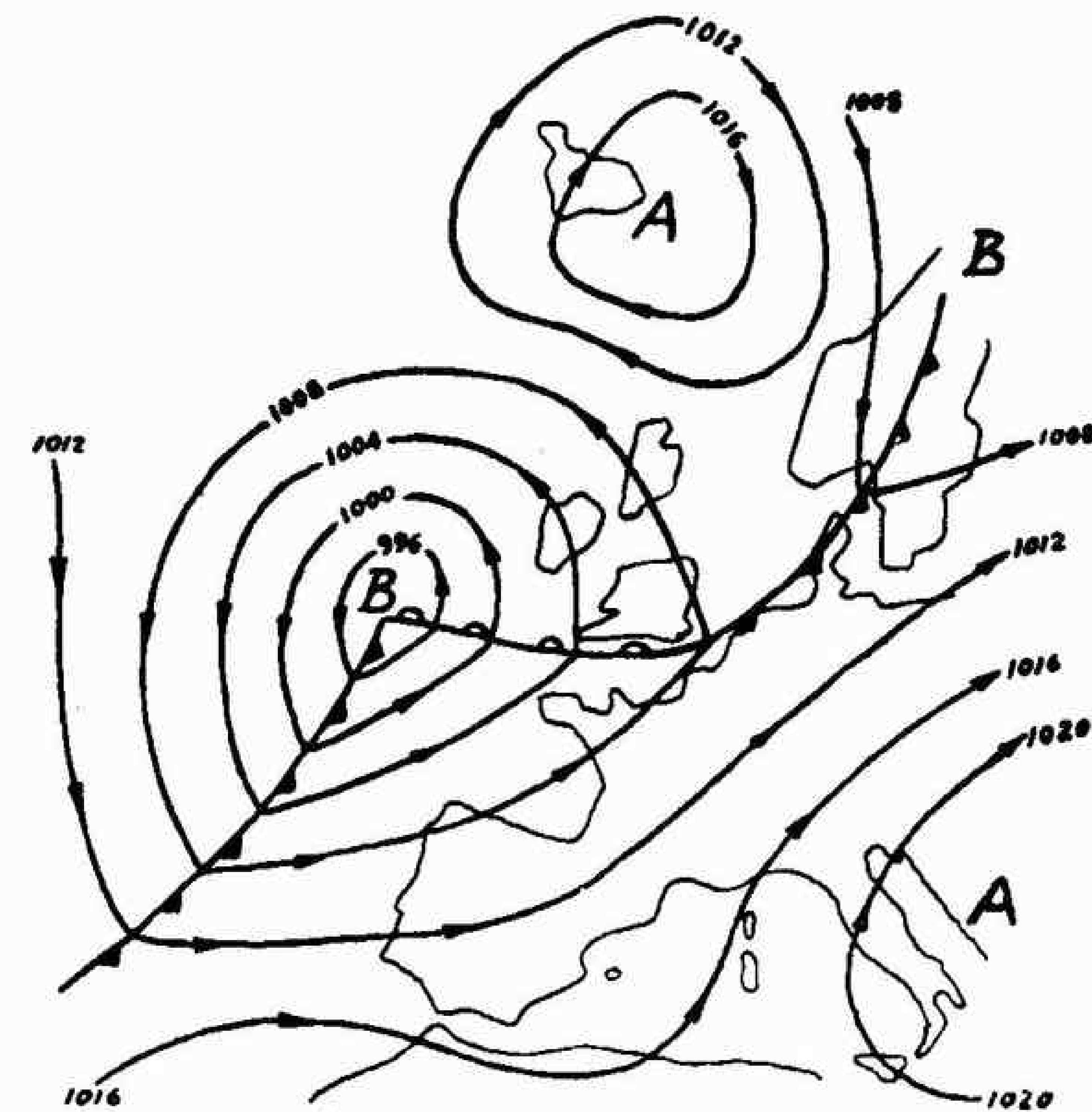
tre fenómenos y mapas. No se va a tratar de convertirles a ustedes en profesionales de la meteorología; para eso están la Universidad y el Servicio Meteorológico. Pero sí de ponerles al corriente de cómo ocurren los procesos que acaban en lluvia, en pedrisco, en nevadas, en sequías prolongadas, en olas de frío o de calor, en inundaciones catastróficas...

Dios quiera que atine con la manera; y que al final de todo estén ustedes en condiciones, no sólo de interpretar correctamente el mapa del tiempo, sino hasta de aventurar *reservadamente* su propio pronóstico.

CAPÍTULO I

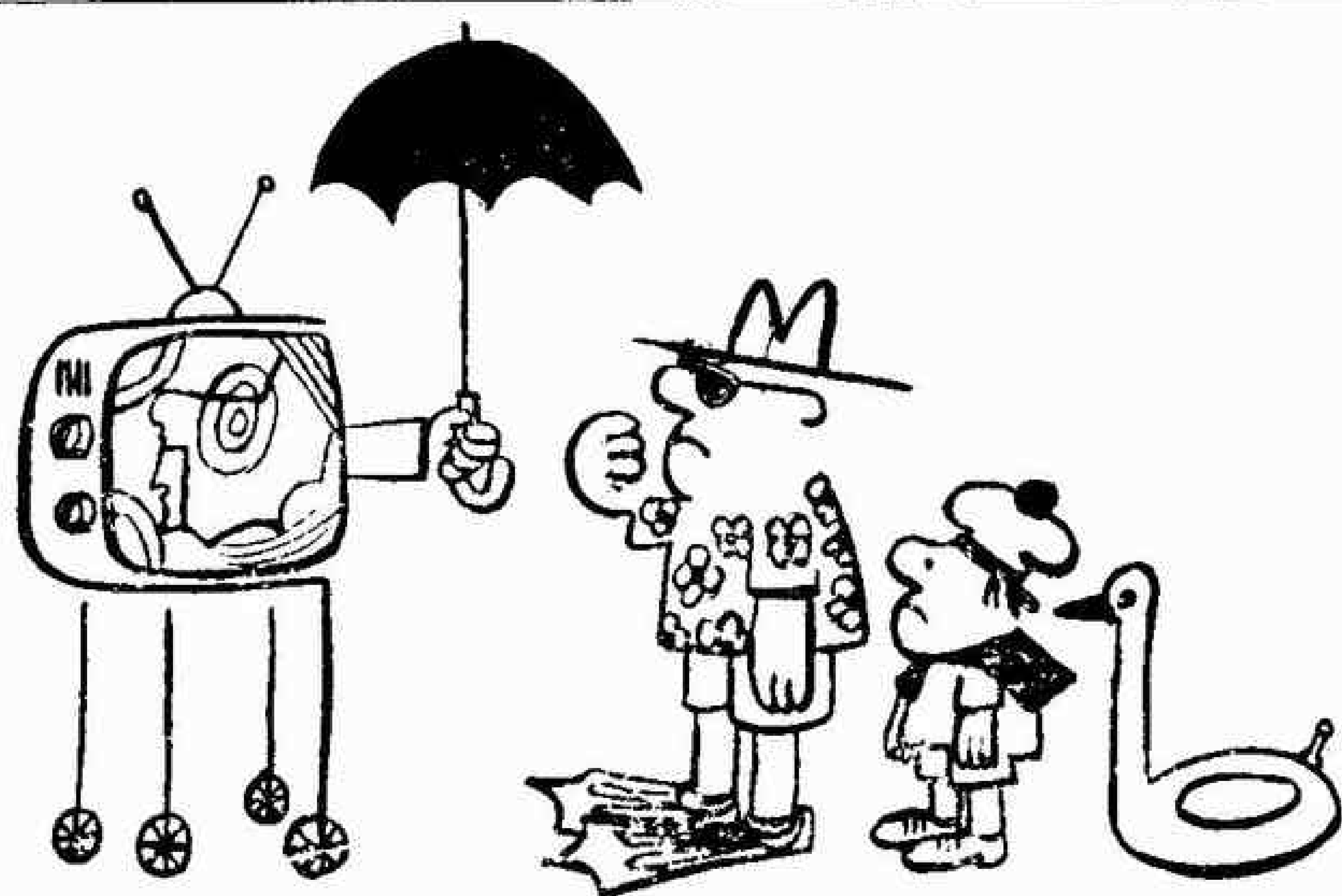
EL MAPA DE LA TELEVISIÓN

Ahí tienen reproducido un mapa del tiempo. Como los que salen diariamente en la televisión. Como los que se analizan sistemáticamente en las oficinas meteorológicas varias veces al día. Es difícil encontrar dos mapas casi iguales. Iguales del todo es



imposible. Pero en casi todos ellos verán que aparecen los mismos elementos: líneas isobaras, borrascas, anticiclones, frentes de lluvia o de chubascos...

El mapa del tiempo es como una fotografía de la atmósfera: una instantánea hecha con una luz especial que permite ver cosas que no se observan a simple vista. La sucesión de tales mapas sería algo así como la película cinematográfica del tiempo, como un *serial interminable* en el que podría verse cómo la atmósfera es algo vivo, cómo las borrascas, los anticiclones y los frentes nacen, se desarrollan, se multiplican a veces, se trasladan, mueren...



Por la prensa, la radio y la TV. muchas personas están familiarizadas con palabras y frases científicas, propias del léxico meteorológico, que hace pocos años conocían sólo los especialistas. La gente tiene ya una idea aceptable de lo que es una depresión; hay quien hace del anticiclón de las Azores o del que hay en el Pacífico una especie de padrinos de la meteorología española o americana, respectivamente; y otras muchas cosas de la ciencia del tiempo van siendo del dominio público.

Vamos, aquí, a tratar de ordenar y aclarar un poco este maremágnum, este rompecabezas de palabras e ideas y a completarlas de modo que les ayudemos a digerirlas y a sacarles utilidad.

MILES DE OBSERVATORIOS

El mapa que les presenté es un «mapa de superficie». Ello quiere decir que es una representación de las condiciones atmosféricas sobre la superficie de la Tierra (fotografía lo llamé antes), junto al suelo; para ser más exactos, al nivel medio del mar. Como toda fotografía, este mapa es instantáneo. Es decir, en él figuran las condiciones atmosféricas a ras de tierra en un momento dado: el de la hora a la que corresponde el mapa.

Ya comprenderán que las miles de observaciones necesarias para la confección de un mapa así, tienen que hacerse en los correspondientes observatorios simultáneamente y con la mayor puntualidad posible: es el caso más claro de cooperación internacional. Un observatorio aislado sirve para muy poco. Ni siquiera todos los de un Estado suelen servir para mucho. Son necesarios, eso sí; igual que lo es cada célula de un cerebro: si a éste le falta alguna o algunas, no funciona bien; son necesarias todas a la vez. Y miles de observatorios repartidos por tierra y mar, a lo largo, a lo ancho y a lo alto del mundo, deben simultanear sus observaciones y concentrarlas en los centros de análisis y predicción del tiempo. El resultado de todas ellas, transmitidas rapidísimamente por radio, telégrafo o teletipo, o recibidas por telefotografía desde satélites, descifradas y transcritas sinópticamente a los mapas de trabajo y analizadas por los meteorólogos, es ese conjunto de líneas, números y letras que ven ustedes. Y de las que vamos a explicar su significado.

LAS ISOBARAS

Las reconocerán en un mapa como líneas que en muchas regiones se cierran concéntricamente y aparecen rotuladas así: 1.000, 1.004, 1.008..., etc., siempre de 4 en 4 unidades; aunque en algunos países, los menos, las trazan de 5 en 5.

¿Qué son las isobaras? La palabra deriva del griego y significa *igual presión*. Es lógico pensar, pues, que se trata de unas líneas que pasan por puntos de la Tierra cuya presión atmosférica era la misma en el momento en que se hicieron las observaciones. Cabe, al llegar aquí, que algunos se pregunten: ¿Y qué es la presión?

EL AIRE PESA

Cuando oímos que la presión atmosférica en un lugar es de 715 milímetros, por ejemplo, ¿qué significado tiene? Simplemente, que el aire que hay encima de un centímetro cuadrado de dicho lugar pesa lo mismo que una columna de mercurio de un centímetro cuadrado de sección y de 715 milímetros de altura. Cuando, al nivel del mar y a 15 grados centígrados de temperatura, la presión es de 760 milímetros, se dice que reina una presión «normal». Para otros lugares que tengan distinta altitud, la *presión normal* es distinta, pues cuanto más alto esté menos aire tiene encima. Y el aire, aunque es muy ligero, pesa. Recuerden que un globo lleno de hidrógeno, que pesa todavía menos que el aire, se escapa hacia arriba para situarse encima, igual que el aceite se sube sobre el agua. Sobre la cabeza de un hombre gravitan, por término medio, unos 250 kilos de aire.



LOS MILIBARES

A cualquiera le resulta extraño esto de medir la presión atmosférica en milímetros, por muy de mercurio que sean. El milímetro es internacionalmente una unidad de medir longitudes;

no de medir el peso que gravita sobre una superficie determinada. Es algo así como medir el tiempo en kilos de patatas consumidas; o la edad de un niño por los pares de zapatos que lleva rotos. Aún llegando a un buen resultado, el procedimiento no es muy apropiado que digamos. Lo mismo ocurre con la presión atmosférica. Los milímetros se conservan, en meteorología, por razón de costumbre principalmente. Es una unidad *histórica*, que utilizó el primero que midió la presión del aire: el sabio italiano Torricelli. Pero se van descartando cada vez más. Si ustedes son aficionados a los mapas del tiempo de la TV, habrán visto que la unidad empleada es el *milibar* y que las isobaras van rotuladas en *milibares*.

El milibar sí es adecuado para medir la presión atmosférica, pues, tal como exigen los físicos, se define como una fuerza aplicada sobre una unidad de superficie: concretamente, la fuerza ejercida por una dina sobre un centímetro cuadrado.

Los físicos suelen emplear también otra unidad de presión, el *pascal* (Pa), que es la presión ejercida por un newton actuando sobre un metro cuadrado de superficie. Echando las necesarias cuentas, resulta que un milibar equivale a 100 Pa, o sea, a un *hectopascal*; por eso a los milibares se les llama también hectopascales. Sin embargo, entre los profesionales de la meteorología aplicada lo más frecuente es que se conserve el nombre de milibares, y así continuaremos haciéndolo en adelante.

Los consabidos 760 milímetros de la presión normal al nivel del mar, equivalen a 1.013,3 milibares, o si ustedes lo prefieren, a 1.033 gramos por centímetro cuadrado.

Naturalmente, encima de una montaña la presión normal vale bastante menos de 1.013,3 mb. Los meteorólogos han calculado cuánto baja la presión atmosférica por cada metro que nos elevamos y lo han establecido en una fórmula. De ella resulta que en los primeros cientos de metros desde el suelo, hay que subir 8 metros para que la presión baje en un milibar. Pero conforme nos vamos elevando, para obtener la misma disminución de presión hay que recorrer cada vez más distancia vertical: la presión disminuye cada vez más despacio al ascender en el seno del aire.

LAS ISOBARAS SE DIBUJAN AL NIVEL DEL MAR

Volviendo a nuestro mapa, ustedes recordarán que lo habíamos denominado «de superficie», y que esta superficie era la del nivel medio del mar.

Si un observatorio está situado en una montaña y marca 996 mb., tal presión es indudablemente la que reina a ese nivel. Para que sea utilizable en los mapas del tiempo, para el trazado de las isobaras hay que modificarla: «reducirla», se dice técnicamente, calculando cuál sería la presión si estuviéramos al nivel del mar. Sólo así, reducidas a un mismo nivel —el del mar— se podrán comparar las miles de observaciones de presión que se hacen en todo el mundo; por la misma razón que sólo podemos comparar quebrados si previamente están reducidos a un denominador común.

Sin meternos en más disquisiciones, quisiera que ustedes recordasen bien esto: para su empleo en el trazado del mapa del tiempo, todas las observaciones de presión atmosférica deben estar reducidas al nivel del mar, cualquiera que sea la altitud *real* a que fueron hechas.

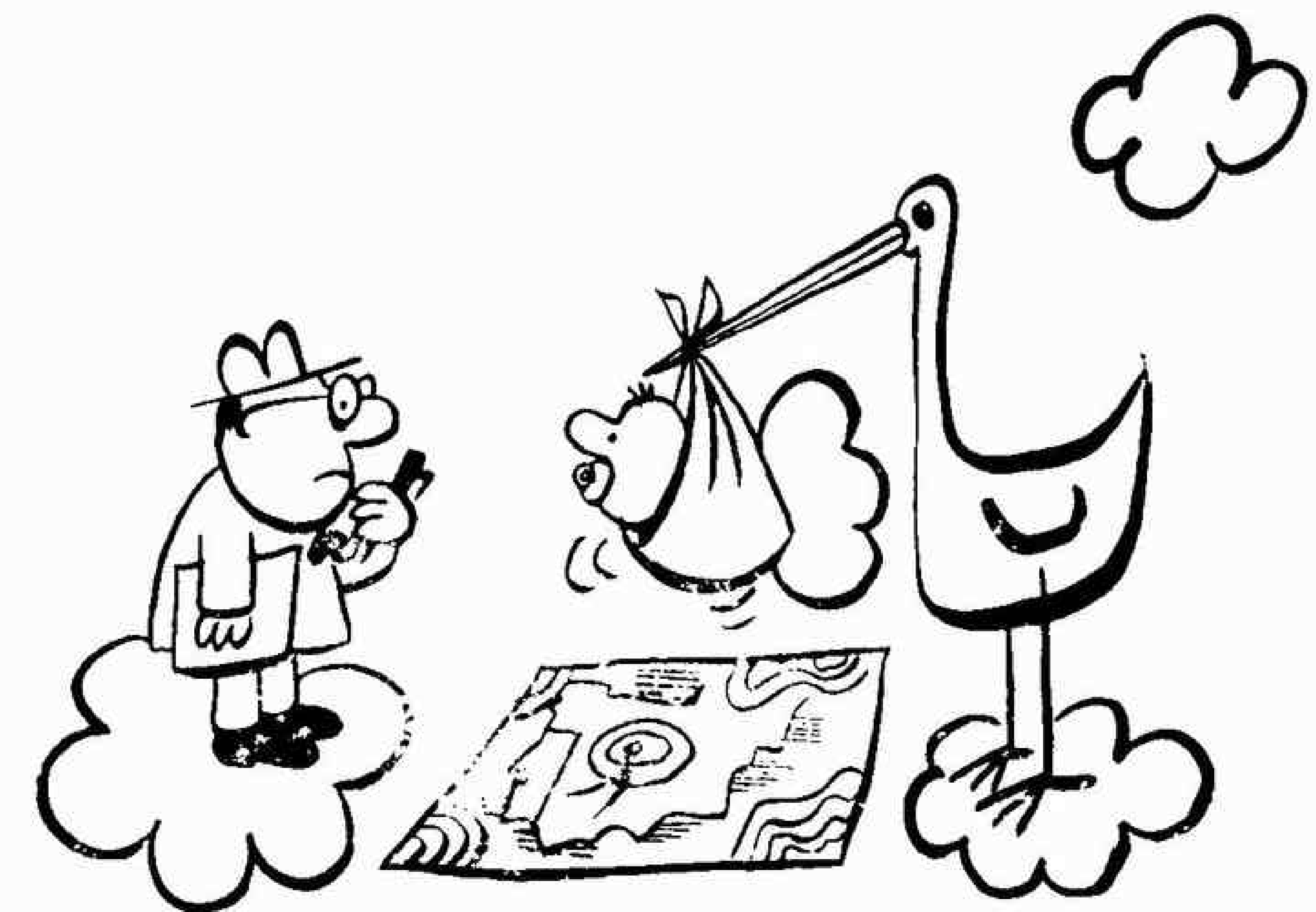
El procedimiento de reducción al nivel del mar consiste en calcular cuántos milibares habrá que sumar a los que leemos en el barómetro, para compensar el que tengamos encima menos aire del que tendríamos si estuviésemos a dicho nivel. El cálculo nunca podrá ser muy exacto, pues no podemos saber si el aire



que tendríamos entre nosotros y el nivel del mar (caso de no existir la montaña) sería de igual densidad que el que nos rodea. De todas formas, no nos queda otra alternativa que hacerlo por ese procedimiento.

LA FAMILIA DE LAS ISOBARAS

Para el que tiene afición a los mapas del tiempo y gusta de correr el albur de un pronóstico, resulta emocionante ver nacer una borrasca (sobre todo si predijo su nacimiento). Uno está convencido, naturalmente, de que las leyes físicas que gobiernan la meteorología son verdad, pero no deja de producir emoción el que, basándose en ellas, se prediga la formación de una borrasca que *todavía* no existe y que al día siguiente la veamos ya, incipiente aún, en el mapa del tiempo y más o menos donde se predijo. Cuando se ha asistido muchas veces a este proceso, llega uno a encariñarse con las *recién nacidas*. Hay profesionales que les ponen incluso nombre propio a las borrascas que descubren incipientes: un nombre de mujer. Porque a medida que se las trata se va llegando al convencimiento de que se comportan como auténticos seres vivos, naciendo y desarrollán-



dose al igual que una criatura, y llenando en ocasiones bastante papel en la prensa diaria con sus consecuencias.

Me gusta ver las borrascas y al resto de los *individuos* del mapa del tiempo un poco así, como seres vivos; un sí es no es tornadizos, un sí es no es femeninos, como esas borrascas con nombre de mujer.

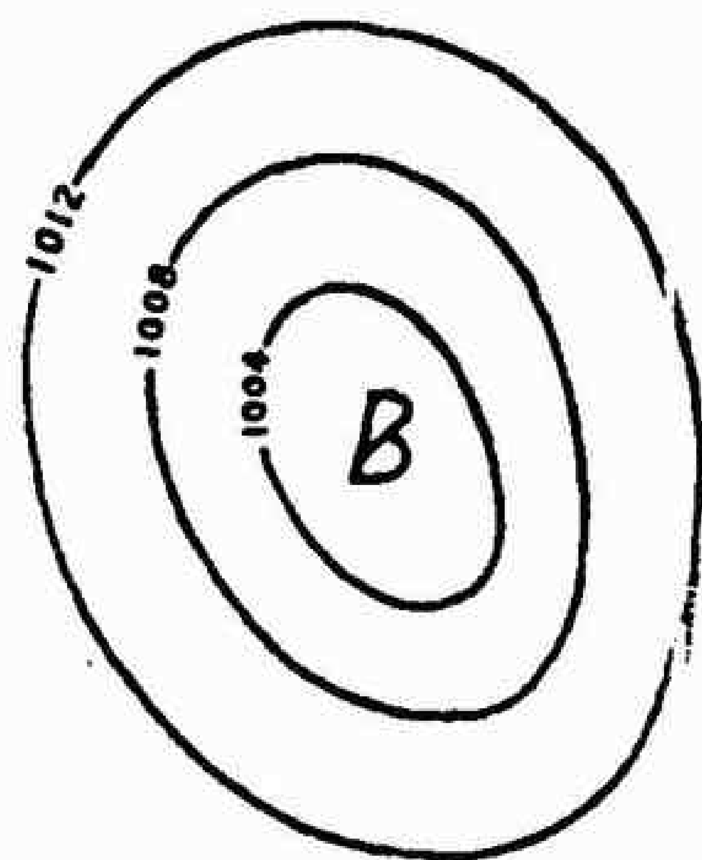
Los anticiclones son menos versátiles, más aplomados: son los hermanos mayores, los que dirigen el conjunto.

Sin embargo, la realidad cotidiana se impone y ustedes y yo vemos al correr de los días montones de «Cármenes», «Luisas» o «Marías de una forma mucho más prosaica en los mapas del tiempo.

Una cualquiera de ellas (llamémosla «Carmen», que es nombre muy español), sus otras hermanas las demás borrascas y sus hermanos los anticiclones van a ser para nosotros simplemente *isobaras agrupadas de cierto modo en el mapa del tiempo*. Es decir, algo así como una familia de líneas más o menos numerosas, de cuya forma y tamaño y de cuya posición en el mapa podremos sacar consecuencias sobre el tiempo probable.

LAS HERMANAS Y HERMANOS DE «CARMEN»

Observen la figura adjunta y fíjense en la numeración de las isobaras, las cuales toman una forma redondeada, casi circular: 1.004, 1.008, 1.012, 1.016..., de dentro afuera.



INICIACIÓN A LA METEOROLOGÍA

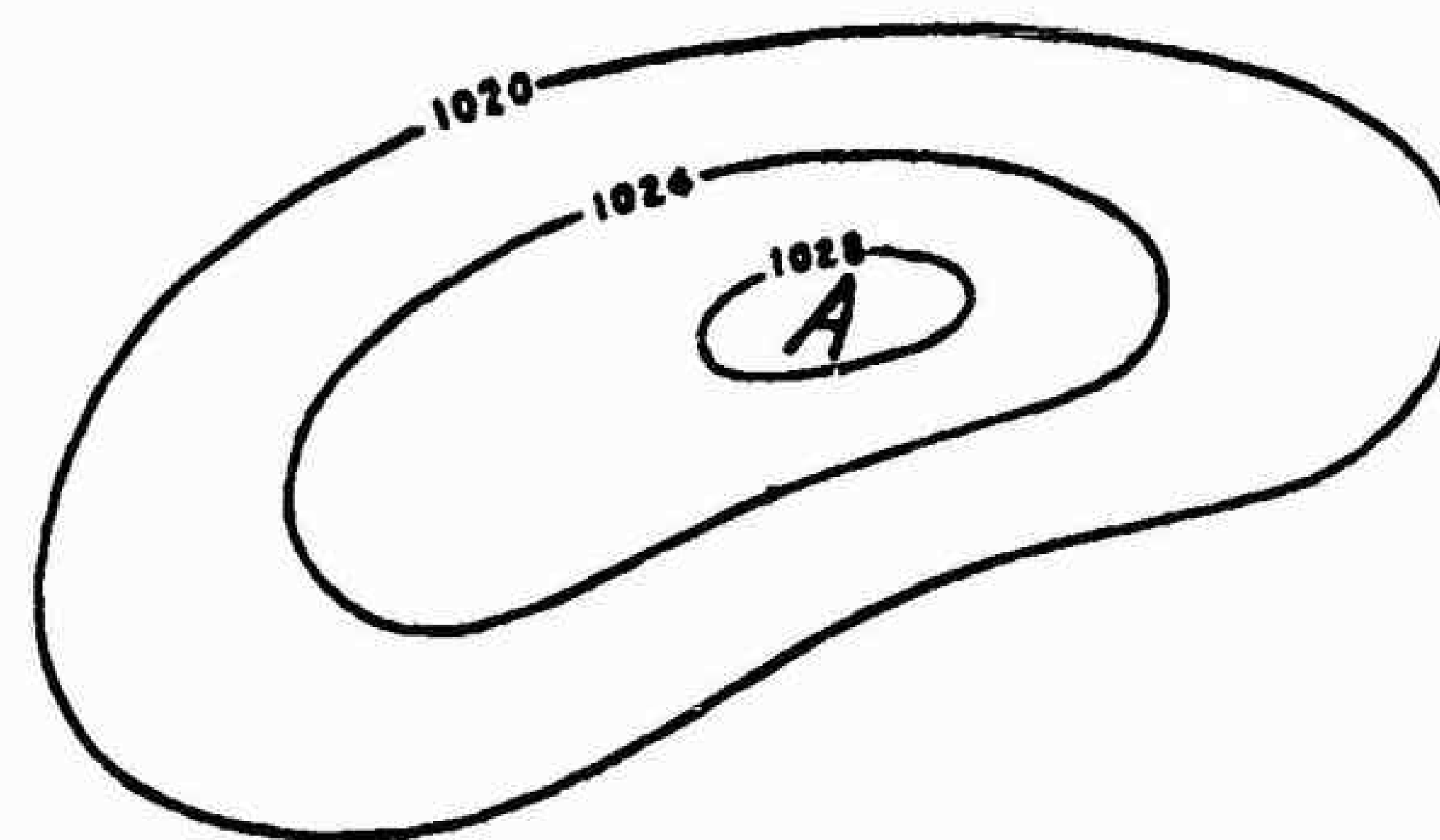
La presión más baja (1.004 milibares en este caso) está en el centro. ¿Qué significa esto? Que existe una región de bajas presiones rodeada de otras con presión más alta. Y esto es precisamente el retrato de «Carmen» y de todas sus innumerables hermanas. Esto es una borrasca.

En los mapas del tiempo habrán visto que, a manera de identificación, se escriba la letra B en su centro, inicial de *baja*, que es otro de los nombres de estos *individuos* meteorológicos. También se les llama *depresiones*, y está empezando a ponerse de moda el sustituir esa B por una D, inicial de *depresión*, porque esta palabra empieza por D en la mayor parte de los idiomas más usados, mientras que usando la inicial de *baja*, en español ponemos una B, en inglés ponen una L y en alemán una T.

Por fin, también las borrascas o depresiones se las llama *ciclones*, aunque esta palabra tiene un significado más restrictivo.

Consideren ahora la otra figura: las isobaras siguen siendo cerradas, pero la de valor más alto es la más interior. La «familia» de isobaras así distribuidas constituye un anticiclón, que es justamente lo contrario de una borrasca, es decir, una región de altas presiones rodeada de otras de presión más baja. Se identifican con una A, inicial de «alta» o «anticiclón».

No hay inconveniente en que los consideremos como hermanos varones de «Carmen» y así podremos dar un paso más en el conocimiento de esta numerosa familia, que vamos a aumentar inmediatamente.

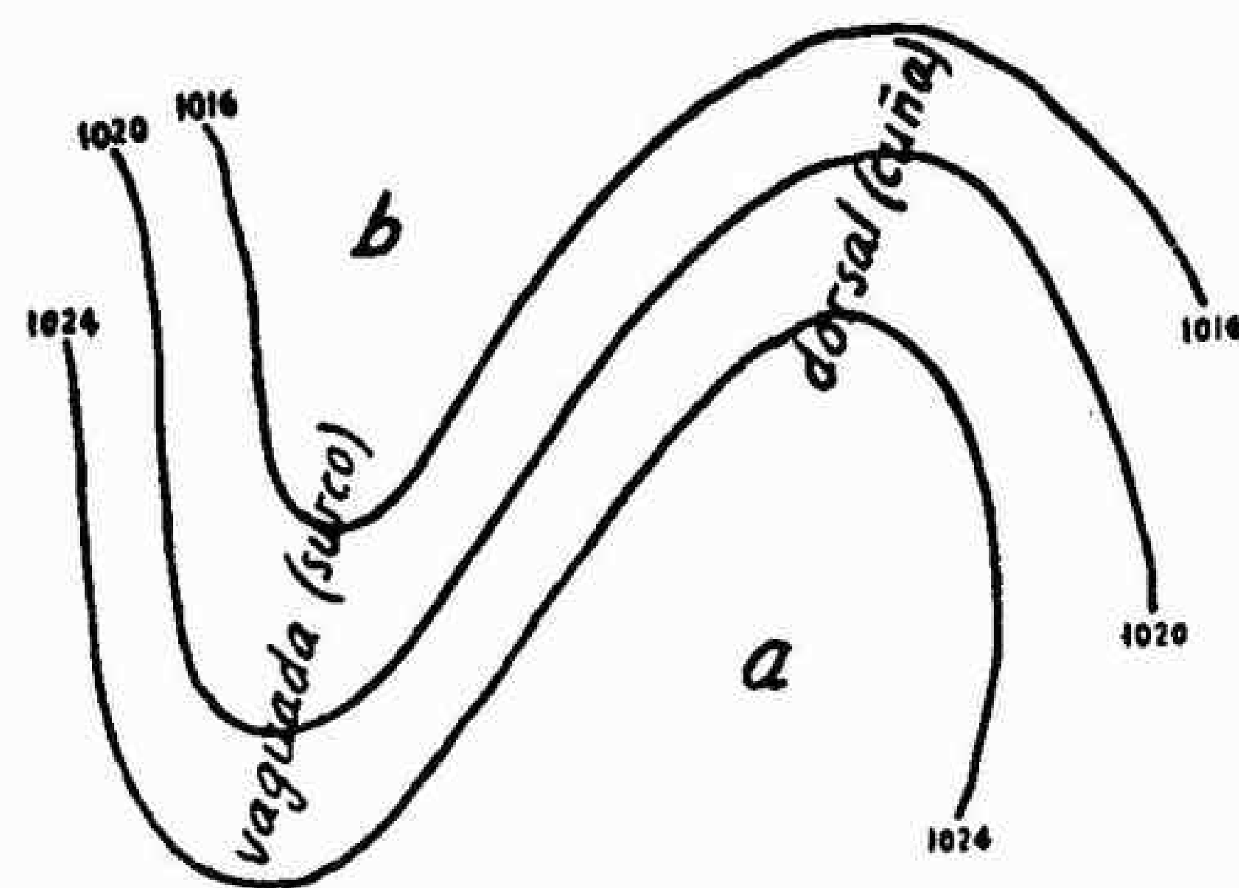


LOS PRIMOS Y PRIMAS DE «CARMEN»

Como seguramente saben, las borrascas suelen ir aparejadas con lo que solemos llamar mal tiempo, y los anticiclones, con el bueno. Esto, de una manera simplista. Ya profundizaremos en la cuestión más adelante. Pero hay casos de tiempo bueno y malo sin que haya presentes anticiclones y borrascas *cerrados*, como los que acabamos de ver[1]. Me estoy refiriendo a los que podemos llamar los *primos* y *primas* de «Carmen».

Vean en la figura una familia de isobaras en forma como de V. La más interior es la más baja. Todo resulta como si se tratase de la mitad inferior de una borrasca, y como ella, produce mal tiempo. Su nombre es «seno de bajas presiones», también «vaguada» y a veces «surco». Se identifica en los mapas con una b, como queriendo indicar que se trata de una borrasca, pero menos.

El caso contrario es el de las isobaras en forma de U invertida, poco más o menos, pero ahora la presión más alta corresponde a la isobara interior. La configuración que así resulta se



1. El concepto de tiempo malo o bueno es relativo. Para el agricultor, si necesita lluvia, el *buen tiempo* es el que hace llover; también puede ocurrir lo contrario. Aquí daremos a las frases *buen tiempo* y *mal tiempo* su significado más corriente. Es decir, *bueno* al tiempo seco y soleado, y *malo* al nublado y lluvioso.

llama «dorsal» o «cuña anticiclónica» y recuerda bastante a la mitad superior de un anticiclón. En los mapas se identifica con una a.

Con estas ideas les será fácil distinguir en los mapas del tiempo las «distintas formas del campo de presión», que es como técnicamente se llaman, en forma genérica, a las borrascas, anticiclones y demás parentela.

Nada hemos dicho aún de su carácter, pero sin prejuicio de que más adelante se lo cuente con detalle, puedo anticiparles que los anticiclones *despiden* aire, mientras que las borrascas lo *absorben*. Y de la misma manera ocurre entre las dorsales y las vaguadas.

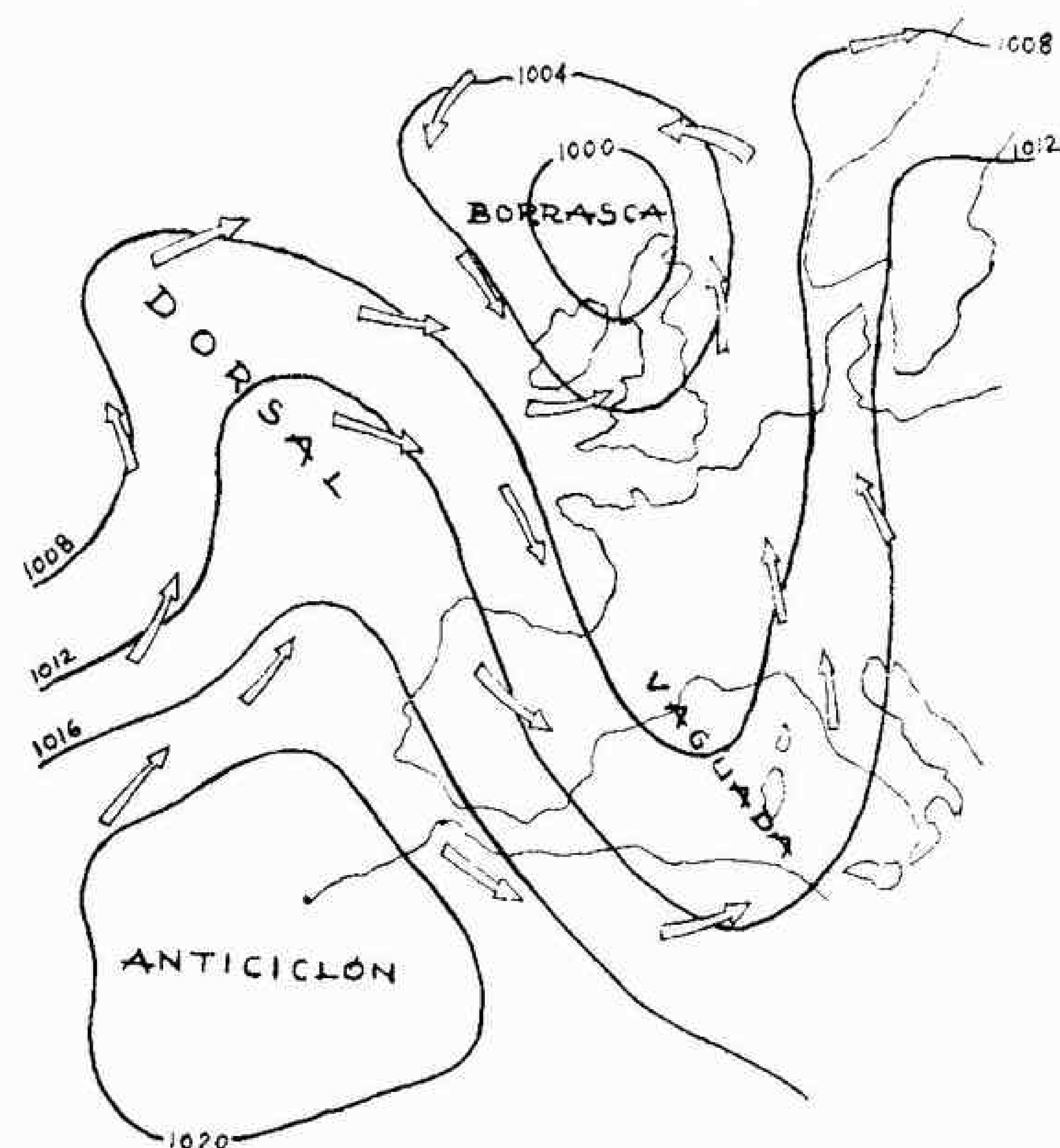
La familia isobárica que les he presentado resulta así ser no sólo numerosa, sino bien avenida: hay parientes ricos que reparten su riqueza (el aire) y parientes pobres que la reciben..., aunque a veces surja la avaricia y se peleen entre ellos, soplando fuerte el *viento* de la discordia.

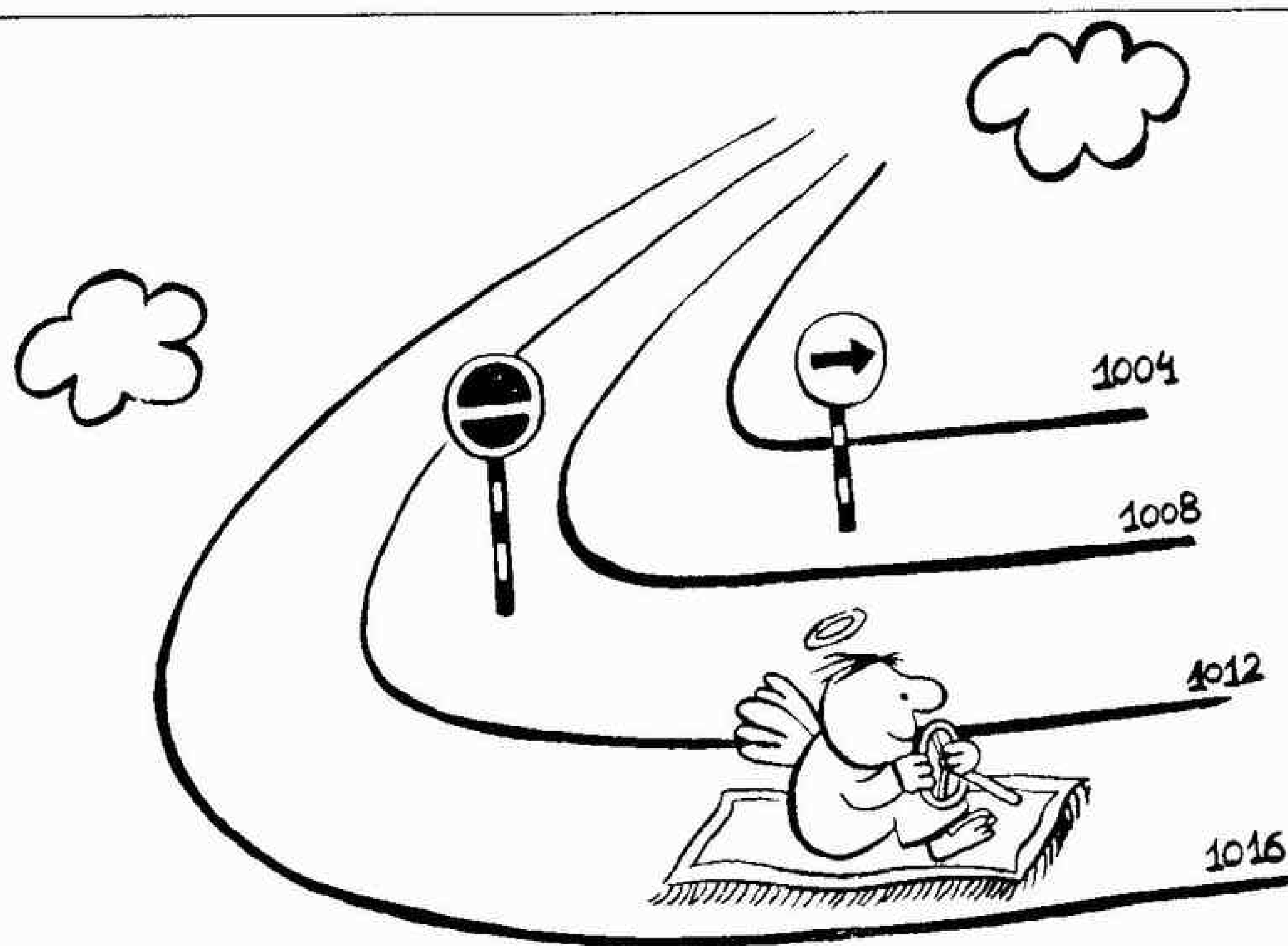
En la página siguiente tienen un cuadro completo del panorama familiar, simplificado para que sólo figure un ejemplar de cada individuo.

LOS CAMINOS DEL AIRE

Es lógico que se pregunten ahora de qué manera pasa el aire de los anticiclones a las borrascas. La figura de la página siguiente se lo explica gráficamente con bastante claridad. Las flechas representan las direcciones del trasiego. Observen que no tiene lugar en línea recta, por el camino más corto. Los anticiclones reparten sus caudales a la manera bíblica, indirectamente, sin ostentación. El viento escapa como contorneando las líneas isobaras; fluye con disimulo para ir llenando la borrasca, casi sin que ésta se entere.

Resulta, en consecuencia, que esas líneas isobaras parecen cumplir un cometido bastante similar al de los raíles del tren. Pues aunque el viento no corre *exactamente* a lo largo de ellas, podemos considerar que así es sin equivocarnos gran cosa. El aire va como *encarrilado* por las isobaras. Acabamos de evidenciar una nueva propiedad de estas líneas: además de tener todos sus puntos la misma presión, son también los *caminos* a lo largo de los cuales el aire circula. Son, pues, «líneas de viento».







Vamos avanzando, ya lo ven ustedes, en la comprensión del mapa del tiempo. Si han leído lo que antecede, con atención, ya pueden perfectamente deducir la dirección del viento, aun sin que haya flechas pintadas en el mapa. Y probablemente intuirán una relación bastante íntima entre el viento y la presión atmosférica, ya que ambas cosas se expresan con las mismas líneas.

Pero aún hay más: del mayor o menor apretado de estas líneas puede deducirse —y de hecho los meteorólogos la deducen— la fuerza del viento. Cuanto más juntas estén, más fuerte es el viento, y viceversa.

LAS AGUJAS DEL RELOJ

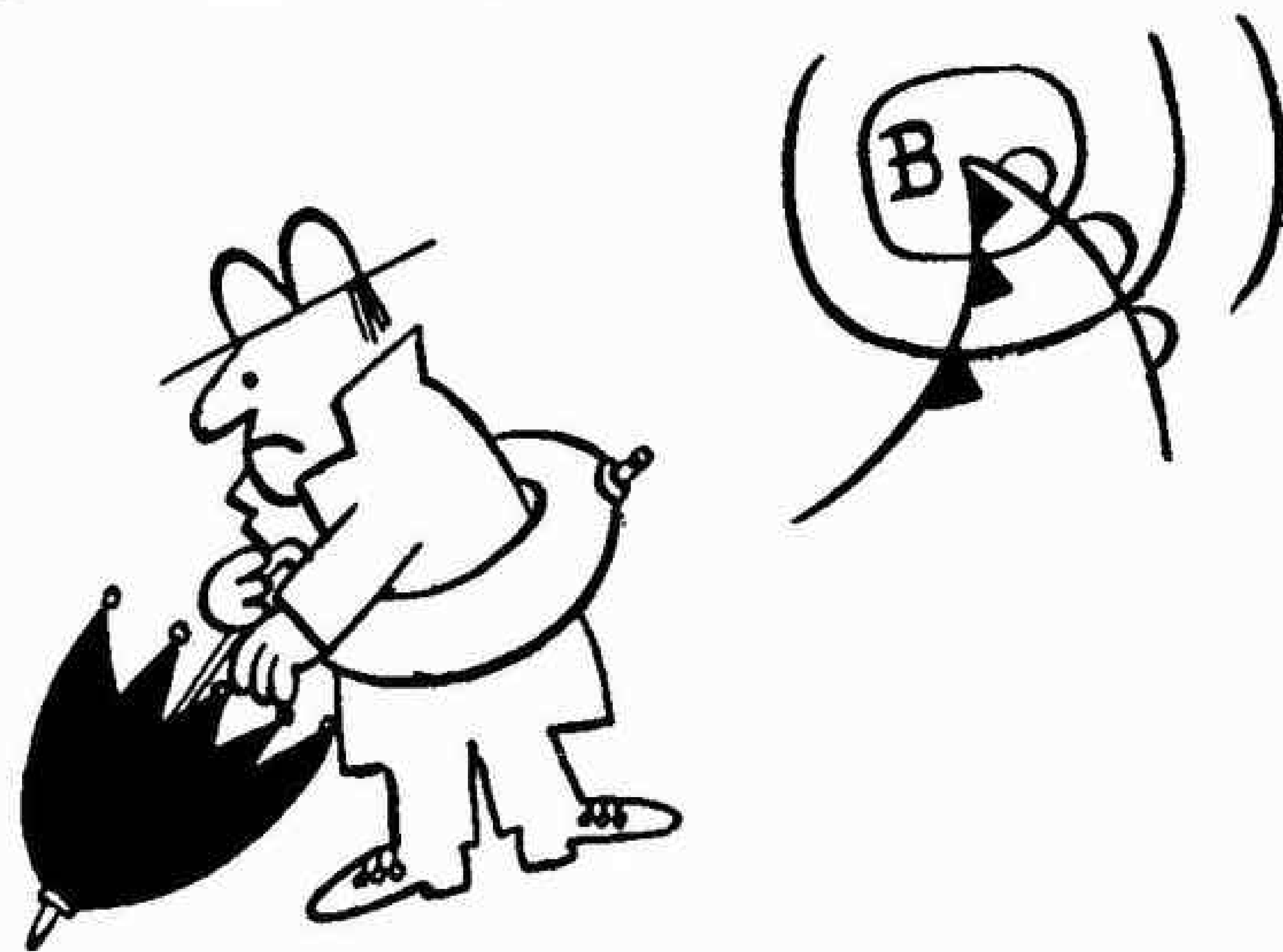
En cuanto al sentido de circulación de los vientos en borrascas y anticiclones, resulta claro que en el hemisferio norte las bajas presiones quedan siempre a la izquierda del recorrido, ocurriendo lo contrario en el hemisferio sur. Ya veremos el porqué. Pero ahora ustedes mismos pueden deducir que, según la regla anterior, los vientos del hemisferio norte circulan alrededor de los anticiclones en el mismo sentido en que se mueven las agujas de un reloj, haciéndolo en sentido contrario en las borrascas. En el hemisferio sur la circulación del viento es al revés:

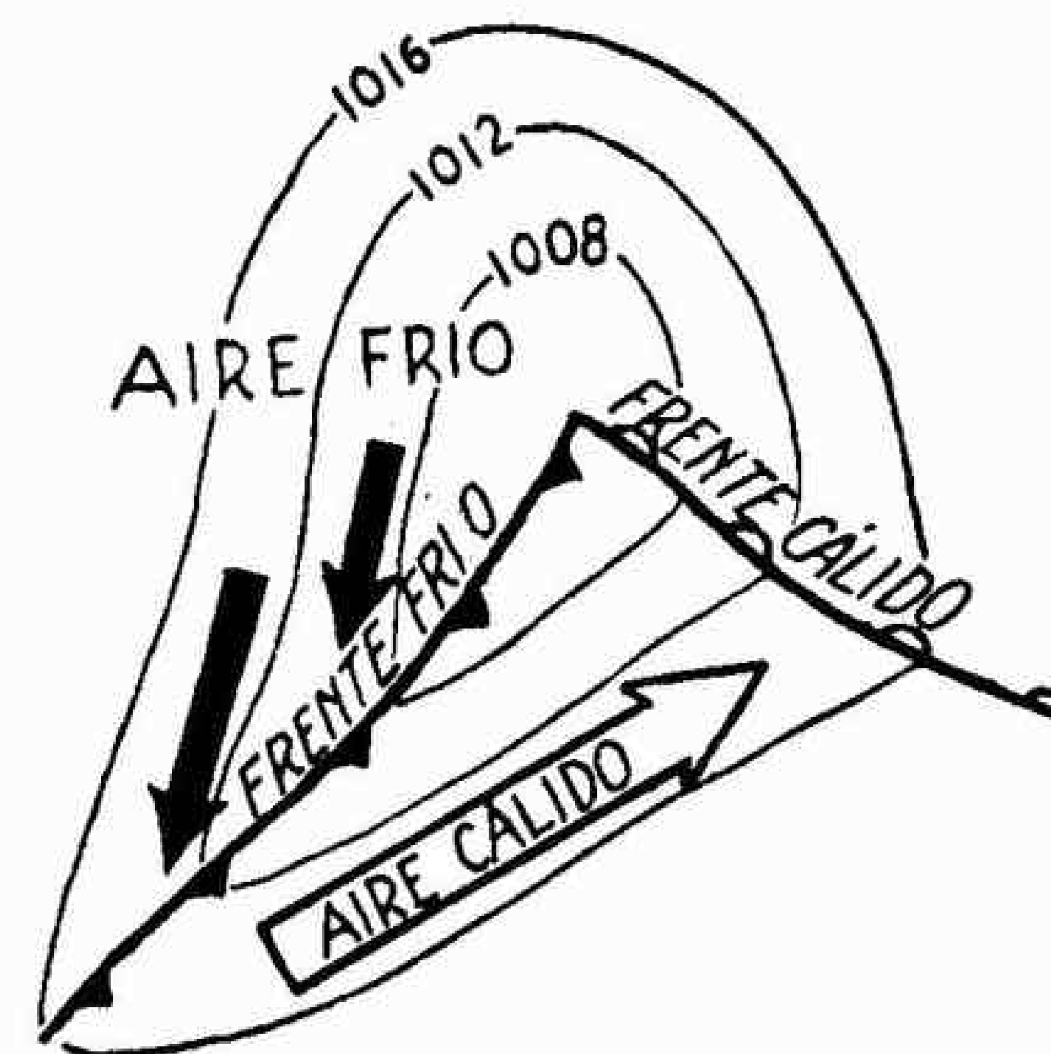
antihoraria en los anticiclones y horaria en las borrascas. Con todo lo cual queda explicado el porqué de las flechas que suelen aparecer sobre las isobaras en los mapas del tiempo de la televisión y que, sin embargo, no se dibujan en los mapas de trabajo profesionales de un centro meteorológico.

LAS LÍNEAS SENSACIONALISTAS DEL MAPA

Nos quedan todavía más rayas en el mapa. Son esas líneas dentadas, con picos unas y con pequeñas barriguitas otras, que aparecen a menudo en los mapas del tiempo. Y que tanta influencia parecen tener en que haga bueno o malo. Ya habrán adivinado que me estoy refiriendo a los *frentes*. La palabra «frente» es del dominio público: «viene un frente de lluvias...», «se aproxima un frente frío...». Más o menos, el concepto de «frente» lo tiene todo el mundo como el de un *productor de mal tiempo*.

¿Qué es en realidad un frente? La pregunta tiene tal vez su origen en esta otra: ¿De dónde procede la gran energía que muestran tener las borrascas? No vamos a exprimir ahora las posibilidades de tales interrogaciones; lo haremos en otro capítulo, ya que ahora estamos tan sólo presentando el panorama conjunto del mapa del tiempo. Pero sí les diremos que en una borrasca es lo más frecuente que no haya una sola clase de aire,





sino que suele constar de dos clases de aire de orígenes muy distintos y con características y propiedades bien diferentes. Ambos tipos de aire no están entremezclados, sino yuxtapuestos; uno es caliente y otro frío. Y del contraste entre ambos resulta, precisamente, la energía de la borrasca; algo así como en una central térmica de producir electricidad. Tal energía se manifiesta en forma de vientos, lluvias, tormentas, etc.

La frontera que separa el aire cálido que avanza del frío que se retira es un frente cálido. La que separa la vanguardia del aire frío de la retaguardia del cálido es el frente frío.

En los mapas del tiempo a un solo color, el frente cálido se representa por una línea con pequeñas barriguitas, y el frente frío con dientes puntiagudos. En los que se dibujan en varios colores, como son los reglamentarios de los servicios meteorológicos, los frentes cálidos van en líneas rojas y los frentes fríos en azul.

Los frentes fríos es frecuente que anden más deprisa que los cálidos, de manera que muchas veces llegan a alcanzarlos. Entonces sus trazados en el mapa aparecen juntos, dibujándose dientes puntiagudos y barriguitas alternados; o si es en colores, se pinta la línea en violeta (mezcla de azul y rojo). Los frentes que así resultan se llaman frentes ocluidos u «oclusiones» y gozan de propiedades conjuntas comportándose como lo que son: una mezcla de frente cálido y de frente frío. Pero más adelante

vendrá la explicación completa de estas perturbaciones atmosféricas. Por ahora, basta con lo dicho.

ESTO ES SÓLO EL COMIENZO

Con todo lo que antecede ya pueden ustedes *ver* un poco mejor el mapa del tiempo. Es importante que lo relean antes de seguir adelante. Estos primeros conceptos: isobaras (o trayectorias de los vientos), borrascas, anticiclones, dorsales o cuñas, vaguadas o senos, frentes... volverán a surgir más veces a lo largo de este libro.

Pero si no tienen paciencia para seguir leyendo e ir descubriendo cosas nuevas de ese mundo fascinante de la atmósfera, al menos habrán asimilado los conocimientos indispensables para interpretar correctamente el mapa del tiempo, y para entender con más fundamento las informaciones y predicciones que lean en la prensa, oigan en la radio o vean en la televisión.

Resumiendo: Los elementos constitutivos indispensables de un mapa del tiempo son sólo las isobaras y los frentes. El resto es... saber combinarlos, tener un poquito de imaginación y penetrar algo más profundamente en el conocimiento del aire que nos envuelve.



Todo irá viniendo progresivamente, si antes no se aburre de leer. Tenga un poquito de paciencia, amigo, porque no hemos hecho más que empezar.

CAPÍTULO II

LA ESCUELA NORUEGA

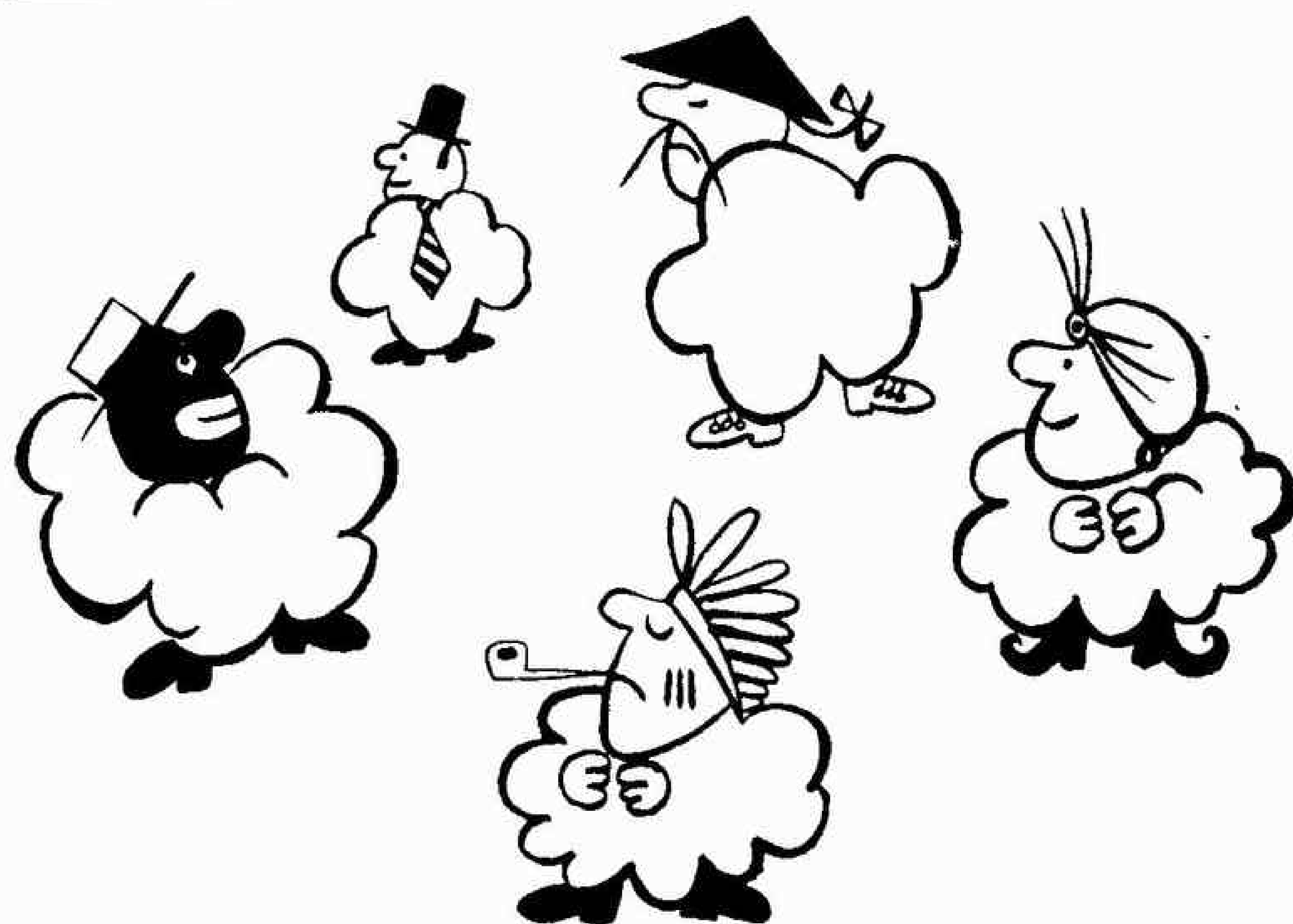
Tan sólo con lo que va explicado, ya sabemos reconocer los distintos frentes en el mapa del tiempo que haya trazado un profesional; y somos capaces de señalar dónde se encuentran el aire cálido y el aire frío. También distinguimos las borrascas y sus parientes, de los anticiclones y similares. Pero es necesario penetrar más en el conocimiento de estas perturbaciones atmosféricas. Hay bastante más que decir de los frentes y del *tiempo frontal*.

Cuando comenzó la Primera Guerra Mundial, en 1914, no se sabía en realidad nada de frentes. Los mapas del tiempo se limitaban, entonces, al trazado de las isobaras, a señalar las zonas de mal tiempo asociadas a las borrascas y las de buen tiempo unidas a los anticiclones. Algo, en fin, un tanto rudimentario; a pesar de lo cual había algunos predictores asombrosamente certeros. Las necesidades de la guerra dieron un gran impulso a los estudios de meteorología y al terminar la contienda hizo su aparición la que después se hizo célebre «escuela noruega» de meteorología. La componían unos cuantos sabios de dicha nacionalidad, gracias a los cuales la ciencia de la atmósfera tomó el cariz actual. Sus nombres: Bergeron, Bjerknes, Solberg, significan en meteorología lo que los de Pasteur, Ramón y Cajal o Koch en medicina. O quizá más. Son los *padres* de la meteorología moderna. Sus estudios, teorías y descubrimientos fueron enormes. Nosotros los citamos aquí ahora porque han sido, entre otras muchas cosas, los descubridores, los *inventores* de los frentes.

EN LA ATMÓSFERA HAY RAZAS

A primera vista puede pensarse que el aire de toda la atmósfera es homogéneo, que el aire es único. Y que si sus propiedades cambian en el espacio lo hacen gradualmente. Pero los sabios noruegos ya citados demostraron justamente lo contrario: que el aire *no es* único, que está dividido en grandes *masas* o *cuerpos* de aire.

Pensando detenidamente, en seguida vienen a la memoria de todos casos en que el frío o el calor se echaron *de repente*, sin apenas variación gradual. Todo el mundo sabe, en sus respectivas comarcas, que cuando se pone el viento de tal o cual dirección las temperaturas suben o bajan en un intervalo de muy pocas horas. Se da uno cuenta, sensiblemente, en muchas ocasiones, de que el aire que tenemos encima es *otro* muy distinto. La atmósfera, que estaba turbia, caliginosa, templada o descaradamente cálida, se vuelve transparente y fría después del paso de unos nubarrones que soltaron chubascos. Y uno piensa: ¿cómo puede haber un cambio tan radical en tan breve espacio de tiempo? La contestación puede ser ésta: *es que en el aire hay razas.*



Porque el aire no en todas partes va de paso. Cualquier aire es oriundo de alguna región determinada del Planeta. Existen en la Tierra determinadas regiones donde el aire se estanca normalmente durante un tiempo más bien largo: son las llamadas «regiones manantiales». El aire estancado sobre ellas, bajo la forma de un gran anticiclón, se hace caliente si la región es cálida, húmedo si es un mar, etc. Cuando se ve obligado a abandonarlas, ha adquirido un determinado carácter con propiedades muy específicas. Tales propiedades las mantendrá cuando se mueva sobre otras regiones, aunque éstas irán modificándolo ligera y progresivamente. Pero siempre conservará suficientes características para poderlo identificar. Cada masa de aire es, pues, de una *raza* especial; y lo normal es que no se entremezclen unas con otras, sino que se mantengan diferenciadas. Es como si la atmósfera no fuese *integracionista* sino *segregacionista*; manteniendo las distintas *razas* o «masas de aire» bien separadas entre sí. Entre cada dos masas de aire hay una pared o frontera que las delimita. Esa pared, esa frontera, es lo que se conoce por frente de aire. De un lado al otro del frente, las propiedades del aire cambian bruscamente.

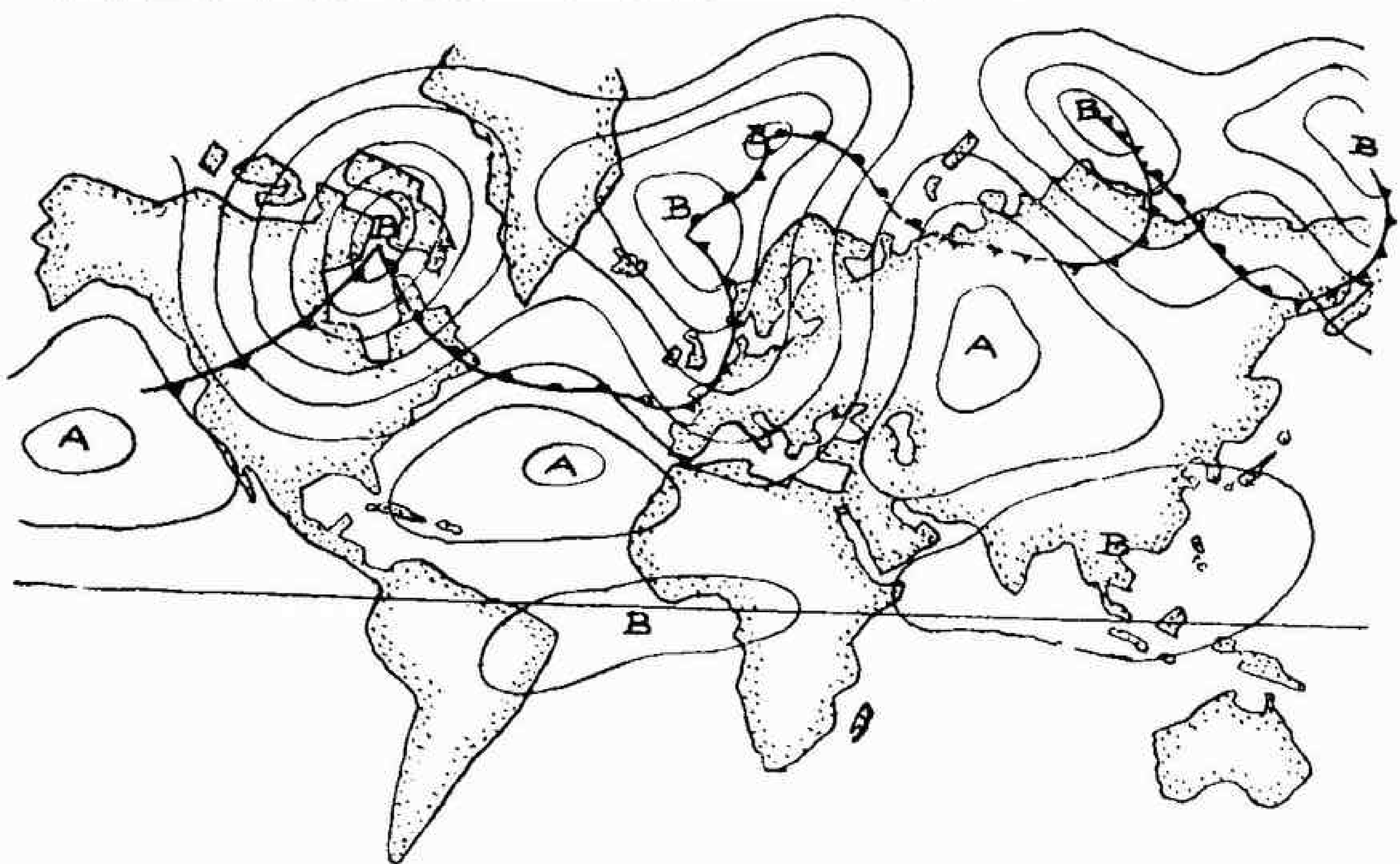
EL FRENTE POLAR, MANDAMÁS DEL TIEMPO

Fíjense ustedes en el mapa planisférico de la figura. En él, una serie de borrascas con sus respectivas parejas de frentes cálido y frío.

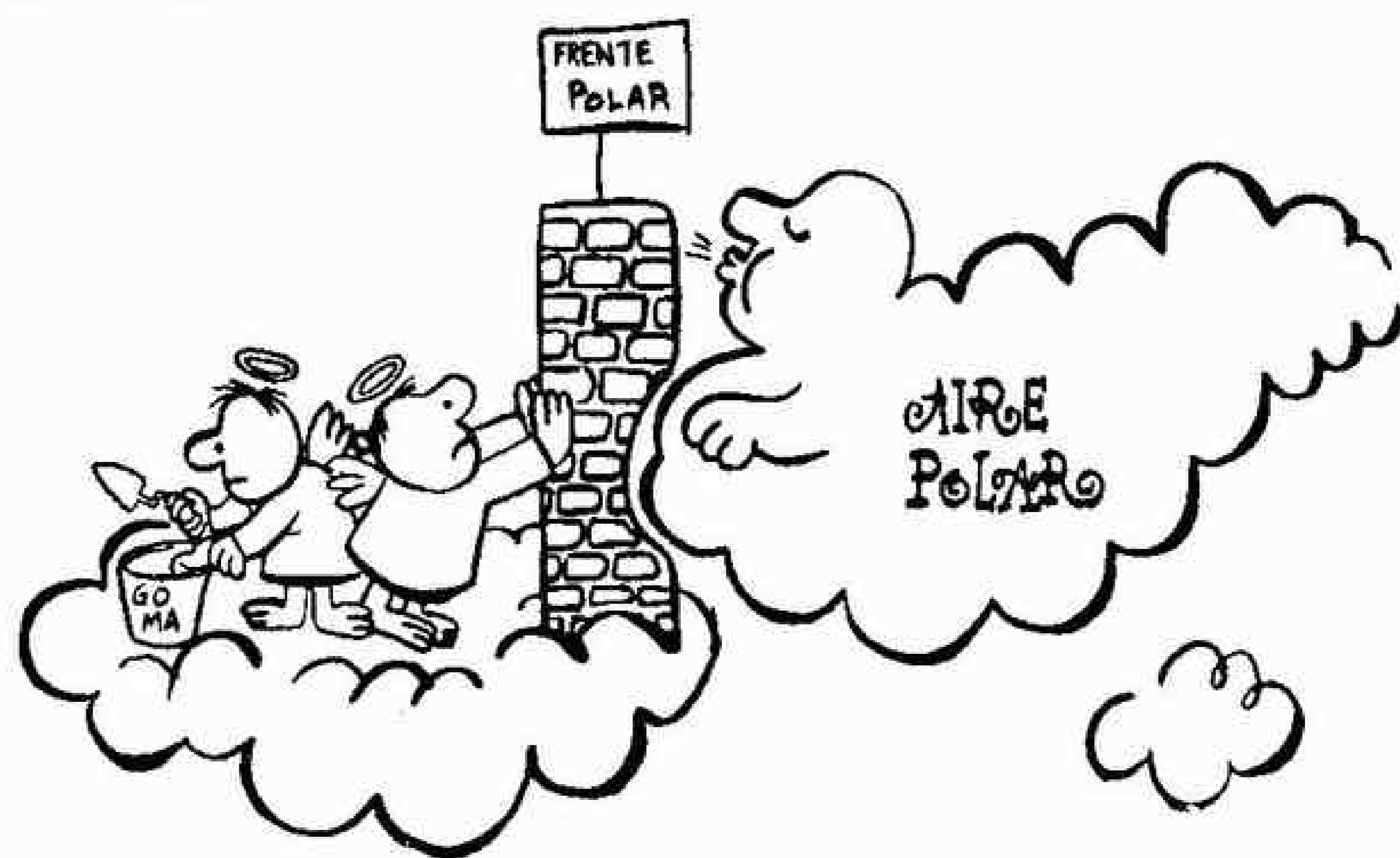
El aire cálido, al sur de los frentes, constituye una sola «masa» más o menos homogénea. Lo mismo ocurre en el aire frío que queda al norte.

El concepto de frente aparece así ampliado; pues ya no se trata sólo de los dos frentes asociados a una borrasca, sino que éstos se enlazan a los de la borrasca siguiente y los de esta segunda a los de otra que sigue detrás; y así sucesivamente, formando *un solo frente*, con trozos cálidos y fríos sucesivamente alternados que, como si fuesen un cinturón, rodean el globo terrestre. Entre cada dos borrascas con sus frentes, hay un anticiclón o una cuña anticiclónica.

A este frente único le llamaron los noruegos el «frente polar»; a las masas de aire que separa, «masa tropical» a la más caliente y «masa polar» a la más fría.



En principio resulta la cosa muy sugestiva y prometedora, pudiéndose pensar que los cambios a mal tiempo vienen dados por la llegada de cada frente, con un breve intervalo entre el cálido y el frío; mejorando del todo al pasar la zona anticiclónica y empeorando nuevamente con el frente cálido que sigue. A grandes rasgos ocurre así, en efecto; pero las cosas se complican más si se atiende al detalle. Porque éste es un esquema

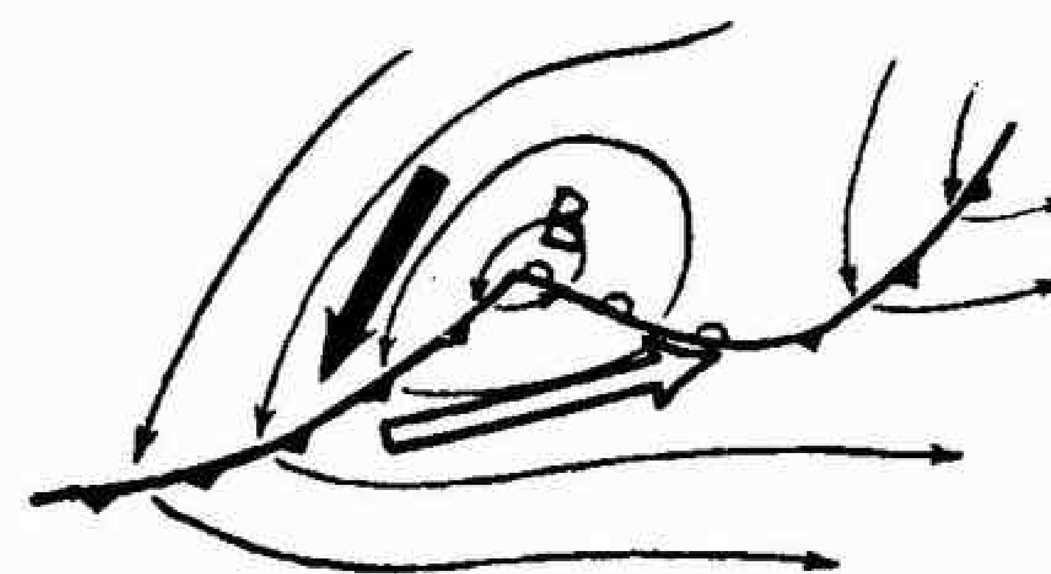


demasiado simplificado de la realidad. Es un cuento demasiado bonito para ser totalmente cierto. Porque, en primer lugar, sólo en teoría resulta el frente polar una línea continua como la de la figura. Está rota, en la realidad, muchas veces: y aun cuando, en un exceso de formalismo teórico, haya profesionales que lo pinten como una línea sin roturas, hay trozos de frentes que carecen totalmente de actividad: que es lo mismo que si no existiesen.

Por otro lado, el frente polar varía muchísimo de posición; está en perpetuo movimiento y no sólo avanzando de oeste a este; unas veces está más al norte y otras se traslada hacia el sur. Es como si fuese una pared de goma, que trata de sujetar el aire polar, circundando todo el hemisferio. El predecir sus traslaciones hacia el sur o hacia el norte es, aunque más difícil que las







de oeste a este, esencial para la previsión del tiempo; pues ya habrán sospechado que existe una íntima relación entre el frente polar y el tiempo que reina en las latitudes templadas. Tanto es así que podemos llamarle el *mandamás* del tiempo en dichas latitudes. Es, además, un magnífico fabricante de borrascas.

ASÍ NACE UNA BORRASCA

Observen en la figura de la página anterior un trozo de dicho frente. Si el aire polar empuja más fuerte en una determinada zona, *como desbordándose en punta*, el frente se dobla y acaba apareciendo una ondulación tal como se ve en la figura siguiente. El aire cálido se revuelve, al verse empujado, y empuja a su vez. El ataque del aire frío se ha representado por una flecha gruesa negra y el del aire caliente por una flecha con líneas dobles. Las figuras corresponden al hemisferio norte. Vistas desde detrás (por transparencia) y girándolas hasta verlas «cabeza abajo» resultan las correspondientes al hemisferio sur.

Y fíjense en el final de la historieta: ¡Ha nacido una nueva borrasca con sus frentes cálido y frío! El proceso, técnicamente, se llama «ciclogénesis», es decir, *generación de un ciclón* o borrasca.

La recién nacida recibe el nombre de «borrasca ondulatoria del frente polar», dando así fe de que su paternidad es debida a éste y del proceso que condujo a su formación. Y vistas así, este tipo de borrascas no son otra cosa que ondulaciones del frente polar que se propagan a lo largo del mismo. Como ocurre con las ondulaciones que se originan en una cuerda al agitarla por un extremo.

LA GUERRA DE LAS MASAS DE AIRE

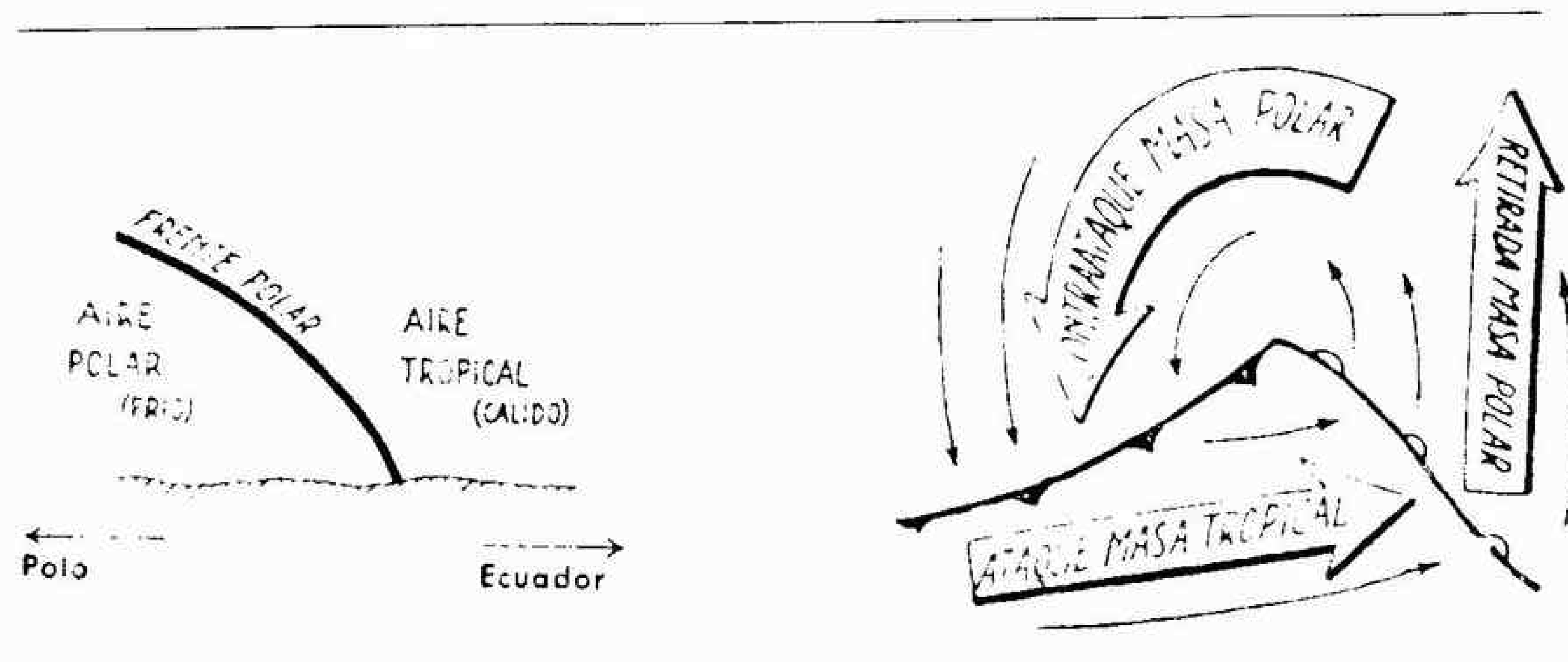
Habíamos quedado en que el frente polar separa dos cuerpos o masas de aire: la tropical, caliente, queda hacia el ecuador, y la polar, fría, queda hacia la parte que mira al polo. También habíamos visto que el frente polar es como una especie de pared de goma que no está nunca quieta. Como quiera que el aire frío es más denso que el cálido, tiende a quedar debajo, resbalando el más caliente por encima; pero sin mezclarse. De



lo que resulta que el frente, la pared frontal, no es un tabique vertical sino una visera inclinada: el aire frío forma una cuña debajo del cálido.

Se dice que el frente es activo cuando alguna de las masas de aire que separa muestra especial energía y tiende a desplazar, a empujar, a la otra. Ésta se resiste y surge la lucha. El campo de batalla es el área de la borrasca; y el frente de batalla, donde los enemigos se encuentran, es el frente de lluvia o de chubascos, según los casos. Precisamente le llamaron *frente* sus descubridores, sugestionados por el léxico militar de la guerra recién terminada.

En la lucha de las masas de aire, la cálida ataca desde arriba al mismo tiempo que empuja a su adversaria la masa polar, que está delante y debajo de ella. El aire frío retrocede, pero ha sido un trabajo excesivo para la esponjosa masa cálida, que empieza a sudar lluvia y a perder acometividad. Mientras dura el ataque de la masa tropical, el trozo correspondiente de frente se mueve hacia el polo y toma caracteres de frente cálido. Pasados los bríos primeros del ataque caliente, la masa polar, que ha ido reagrupando sus fuerzas, reacciona contra su enemiga atacándola por la espalda y con golpes bajos. Es decir, que, dando un rodeo, ataca por retaguardia empujando a la masa tropical con fiereza y metiéndose en cuña por abajo como un toro que embiste. El aire cálido es volteado, lanzado violentamente hacia arriba y obligado a retroceder; apareciendo el frente polar, en esa zona, como un frente frío que se mueve hacia el ecuador. Cuan-



do los respectivos ataques se han normalizado y estabilizado en cierto modo, el conjunto de frentes se mueve hacia el este. Pero mientras predomina el ataque polar, la masa cálida abandona el campo aceleradamente, desangrándose en chubascos; y la masa fría, victoriosa, avanza implacablemente... Los meteorólogos hablamos entonces de una irrupción de aire frío, que no debe interpretarse como una «ola de frío» si no se advierte esto en forma clara, ya que éstas son producidas por otro tipo de masa de aire: el aire ártico.

Normalmente, todos estos combates suelen ocurrir bastante al norte de los 40 grados de latitud (latitud aproximada de Nueva York, Madrid y Pekín en el hemisferio norte; y de mar del Plata, Valdivia, sur de Australia y Nueva Zelanda, en el hemisferio sur).

Con todo lo que antecede es fácil comprender la esencia de las ideas de los meteorólogos de la «escuela noruega», que asignaron al frente polar un papel absolutamente decisivo en el estado del tiempo de las latitudes templadas.

LA BORRASCA BEBÉ

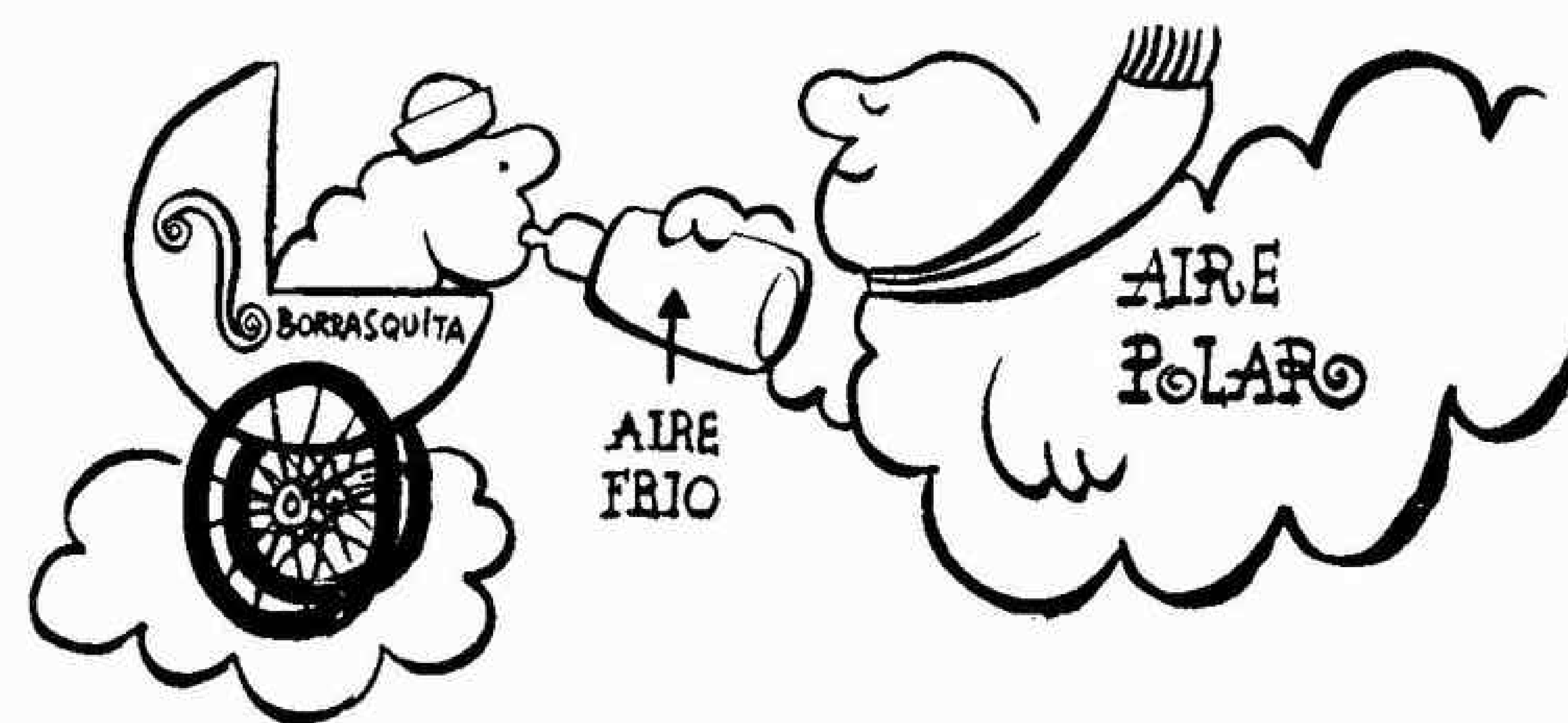
Creo que ya tienen ustedes una buena idea de cómo nace una borrasca por el abombamiento u ondulación del frente polar. Es lógico ocuparse ahora un poco del comportamiento de la *recién nacida*.

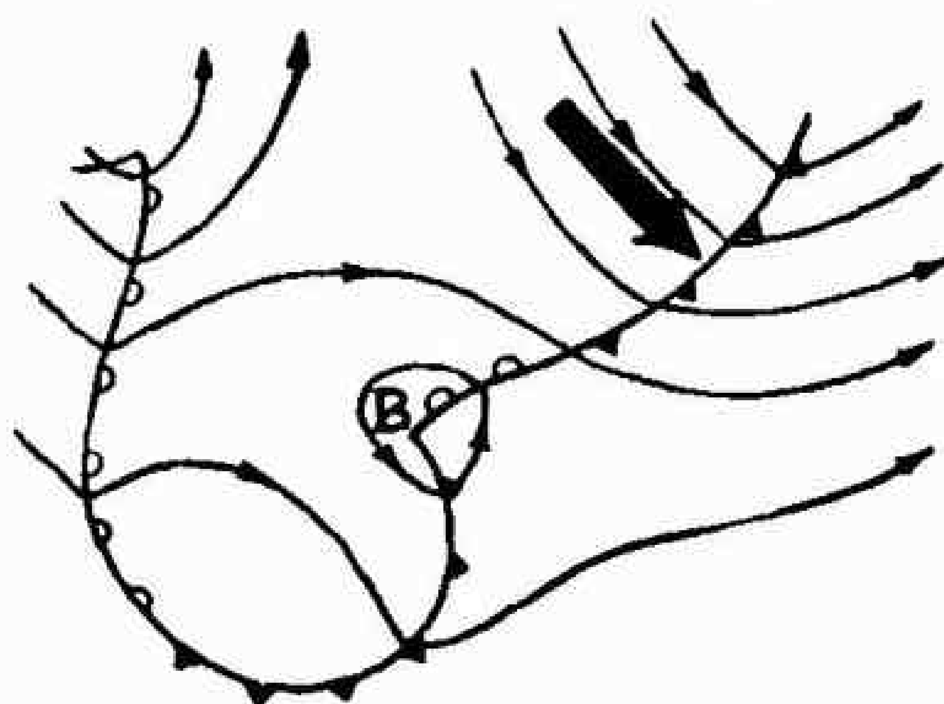
Como una criatura que acaba de venir al mundo, lleva *en germen* todas las características de una borrasca desarrollada, adulta. Sus frentes cálido y frío, incipientes todavía, están tan separados uno de otro como las patas de un compás en su máxima abertura. Igual que si se tratase de un bebé, podemos preguntarnos si se nos malogrará o si se criará fuerte y robusta. Esto dependerá fundamentalmente de su alimentación.

Recordarán que la vitalidad de una de estas perturbaciones dependía del contraste de temperaturas entre sus progenitores, la masa polar y el aire tropical. Éstos son como un matrimonio con ganas de gresca; y precisamente cuanto más terca y dominante sea la madre (cuanto más fría y con más empuje la masa polar) y más fogoso y enérgico el padre (más cálido y húmedo el aire tropical), más robusta resulta la borrasca bebé. Como si el contraste entre los caracteres de los padres robusteciese al hijo.

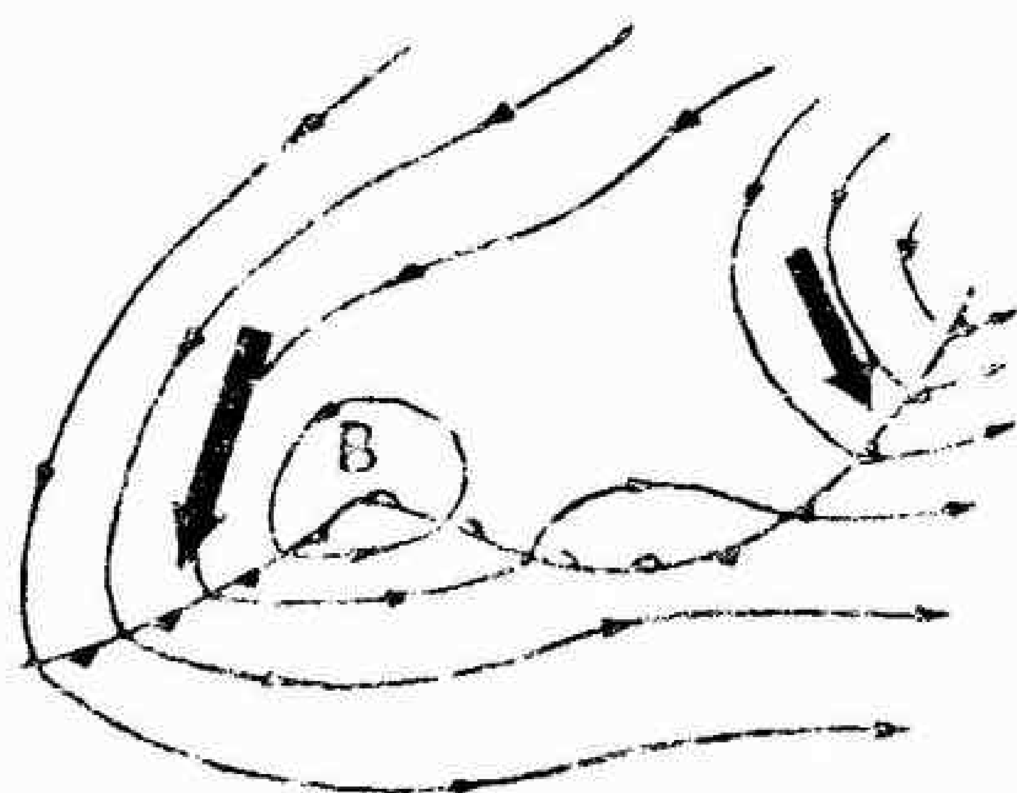
EL ALIMENTO DE LAS BORRASCAS

Pero, una vez dada a luz la borrasca bebé, ¿qué clase de biberón necesita para hacerse fuerte? Dios dispuso las cosas de manera que el biberón de nuestra borrasquita se lo diese precisamente la masa polar, que hace en cierto modo de nodriza. Es decir, que las *borrascas se alimentan de aire frío*. Y si se las corta el suministro, adelgazan, se hacen raquíticas y acaban por morir, desapareciendo del mapa del tiempo en plazo breve.





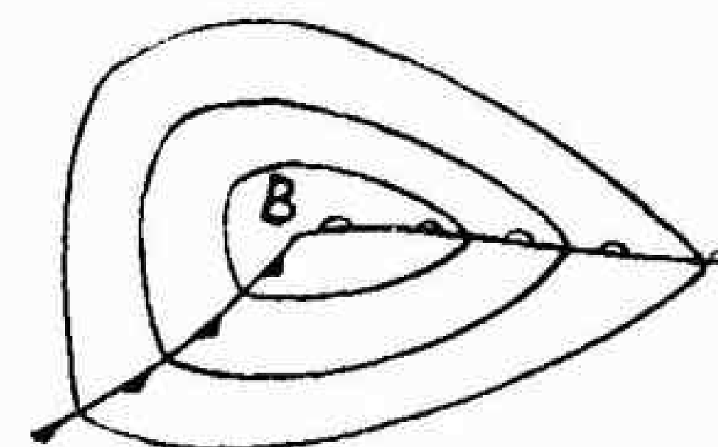
Por el contrario, si a una borrasca joven no se le corta el suministro de aire frío, acumula energías, engorda y crece y acaba por hacerse una borrasca madura. Y si una borrasca vieja y en trance de desaparecer recibe una buena inyección de aire frío, *revive* «se reactiva» y vuelve a tener energías y acometividad.



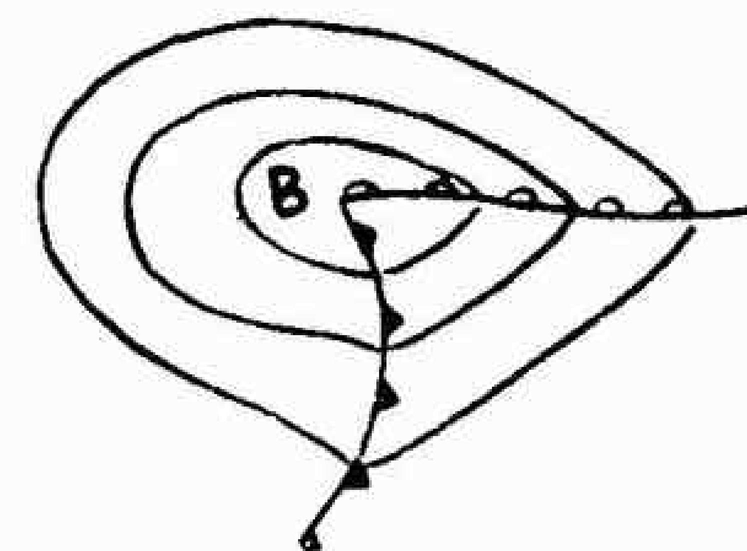
Con estas ideas, y si observan detenidamente las figuras, ustedes mismos podrán deducir ante un mapa del tiempo qué borrascas crecerán y cuáles morirán por falta de alimento. Sólo hay que fijarse en si les llega, o no, aire frío a impulsos del viento norte por su borde occidental, y sobre todo si ese aire frío les llega por las capas altas, entre 3.000 y 6.000 metros de altitud, aproximadamente. Esto en el hemisferio septentrional, porque en el meridional el aire frío les ha de llegar del sur, que es donde está el polo.

HISTORIA DE UNA BORRASCA

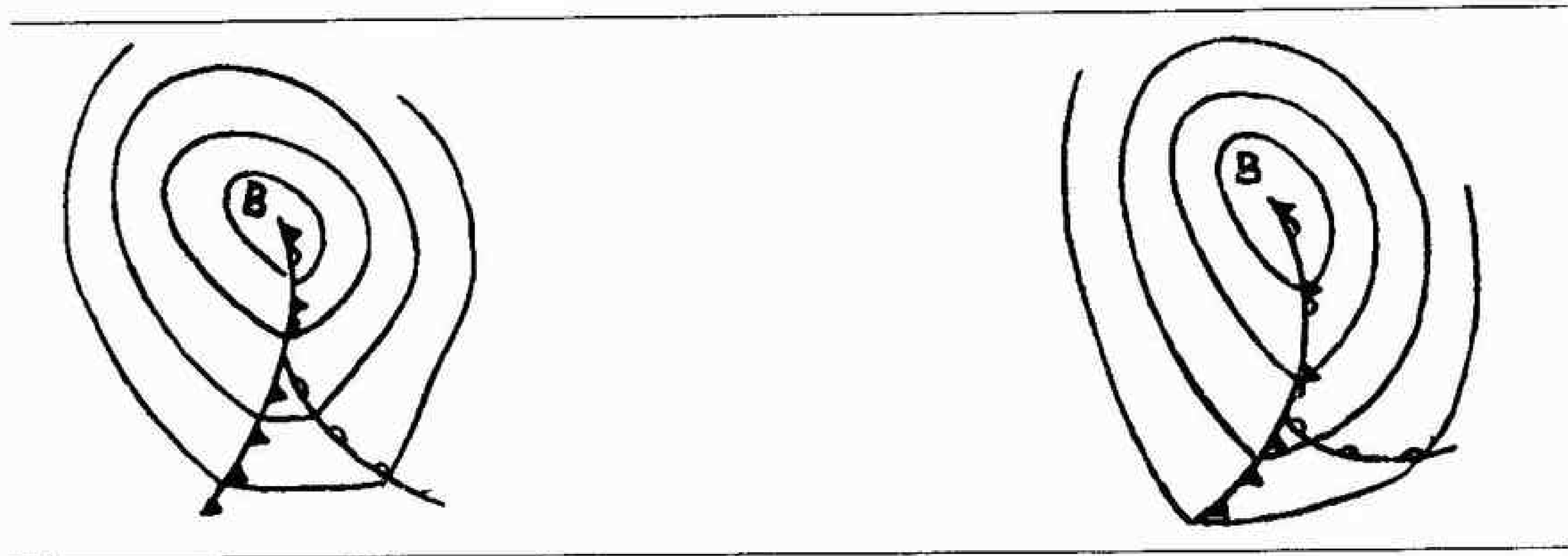
Supongamos una borrasca a la que no le falte el alimento del aire frío en su borde posterior. Vamos a seguir su ciclo vital, hasta su muerte. Si nace como «secundaria» de una borrasca ya madura, muchas veces engorda hasta el extremo que de la «principal» sólo queda el recuerdo. A veces coexisten durante mucho tiempo. En cualquier caso, el esquema de una de estas perturbaciones con sus frentes cálido y frío es el que conocen: un compás entre cuyas patas, que son los frentes, se aloja el llamado «sector cálido» de la borrasca, o zona donde está el aire tropical. Rodeando por fuera este sector, encontramos el aire polar.



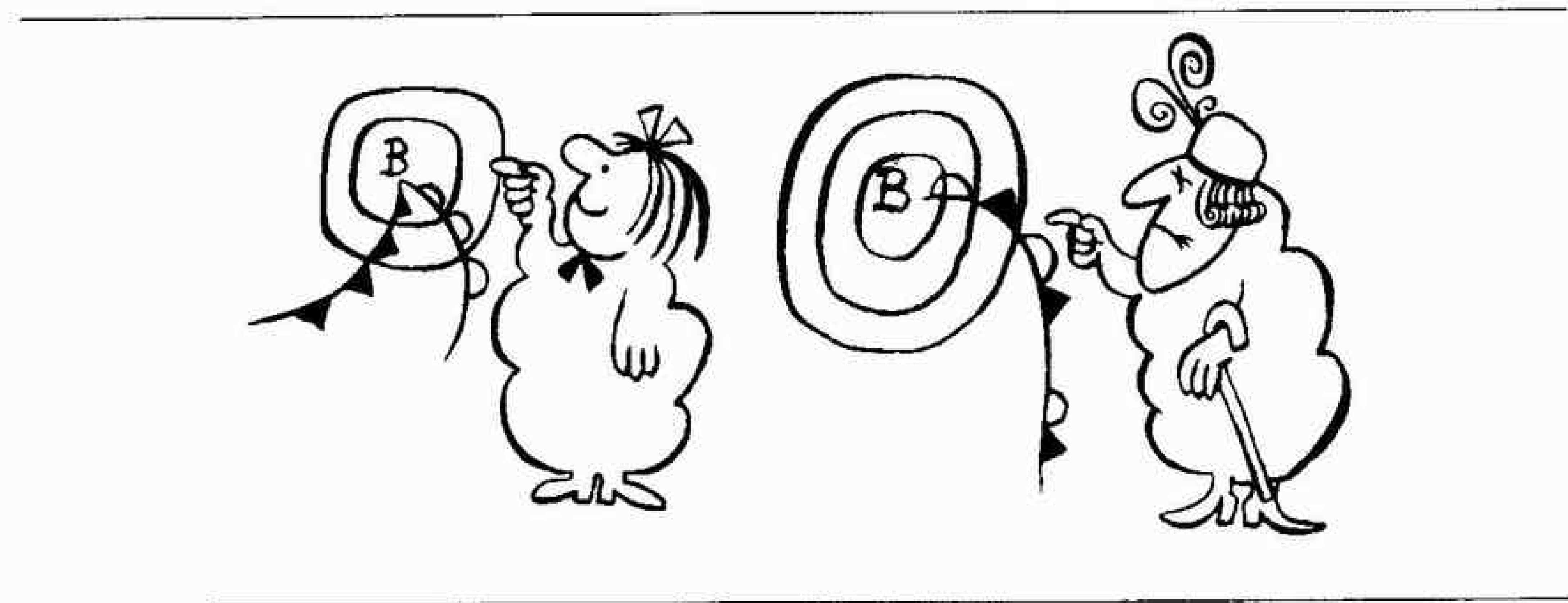
Ya se apuntó en otra ocasión la idea de que el frente frío suele ser más veloz que el cálido. Por cuya razón lo más frecuente es que el sector cálido se vaya estrechando progresivamente. Pero mientras haya sector caliente, es decir, se vean los dos frentes separados, puede decirse que la borrasca es joven:



en el área que ocupa hay lucha y se libera energía. Pero fatalmente llega un momento en que el frente frío alcanza al cálido; el sector caliente desaparece, se cierra u «ocluye». El fenómeno se llama «oclusión del sector cálido». El frente que resulta es el «frente ocluido», aunque corrientemente también se le llama «oclusión». A escala humana es la madurez, la plenitud de las energías; la edad en que el hombre, a poco que pueda, se compra el coche utilitario y, si puede más, un chalet en la sierra



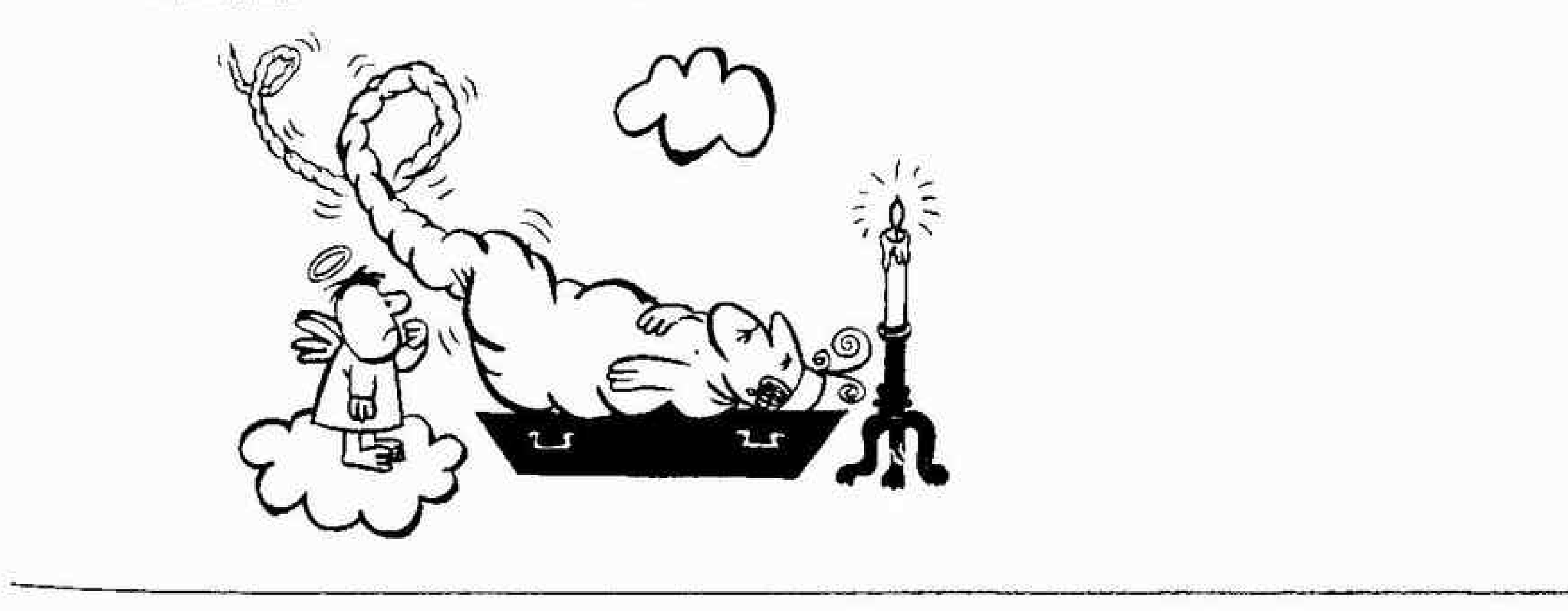
o en la playa. La borrasca ocluida es la borrasca madura, la borrasca culminada. En ella todo es aire polar en las capas bajas; el aire de su sector cálido se fue arriba y queda flotando como un recuerdo de sus tiempos jóvenes. La borrasca se vuelve egoísta; a partir de entonces su vida sólo se empleará en gastar la energía acumulada, girando alrededor de sí misma; pero este proceso puede durar mucho tiempo, incluso más que su juventud. Depende de la energía que acumuló, de cómo administró sus fuerzas.



LA PIRUETA FINAL

Fíjense en que la borrasca joven tiene dos frentes: el cálido y el frío, y la ya ocluida uno solo, el frente ocluido u oclusión. Este último frente tiene a un lado aire polar (el que había detrás del frente frío), y al otro... aire polar también (el que había delante del frente cálido), ya que el sector de aire tropical ha desaparecido de junto al suelo. A pesar de haber a ambos lados aire polar, puede ser bastante distinto el uno del otro, y en general así es, ya que aunque esas masas de aire tienen un mismo origen, han seguido caminos muy distintos en sus vidas y tienen muy diferente «historia». Si resulta ser más frío el aire de detrás, la oclusión se comporta más como un frente frío, llamándose entonces «oclusión fría» por avanzar un aire con menos temperatura empujando contra otro de temperatura más alta. En caso contrario, cuando es menos frío el aire que empuja, la oclusión se parece más a un frente cálido y se llama «oclusión cálida».

Sea como quiera, ustedes mismos comprenden el final: aire polar junto a aire polar es pan con pan, que al fin y al cabo es comida de tontos. Todo termina en una rápida mezcla de ambas masas de aire que aún conservan suficientes propiedades comunes para mezclarse sin dificultad, produciendo un gigantesco remolino de aire frío y algunas tronadas. Es la pirueta final: la borrasca consumió toda su energía, quedando totalmente sumergida en el aire polar. El frente polar queda más abajo, más hacia el ecuador: ha bajado de latitud. La borrasca ha muerto, pero el aire polar ha ganado terreno. El aire tropical reacciona como queriendo tomarse el desquite, vuelve a abombarse el frente polar empujado por el aire cálido, empuja a su vez desde el otro lado el aire frío para compensar... y el ciclo se repite.



CAPÍTULO III

DEL DIOS EOLO A LA FUERZA DE CORIOLIS

«¡Uy, cuánto aire!», o «¡cuánto aire hace!», suelen decir en Castilla cuando el viento sopla. Y es una frase ingenua, pero que tiene su trastienda. Porque aire hay siempre, pero *sólo lo notamos cuando sopla el viento*, es decir, cuando el aire se mueve. Que *el viento es el aire en movimiento* lo aprendimos en la escuela, siendo una definición a la que sólo falta añadir la palabra *horizontal*.

Su importancia en el acontecer del tiempo atmosférico es algo que pronto se abrió paso en la inteligencia de los primeros



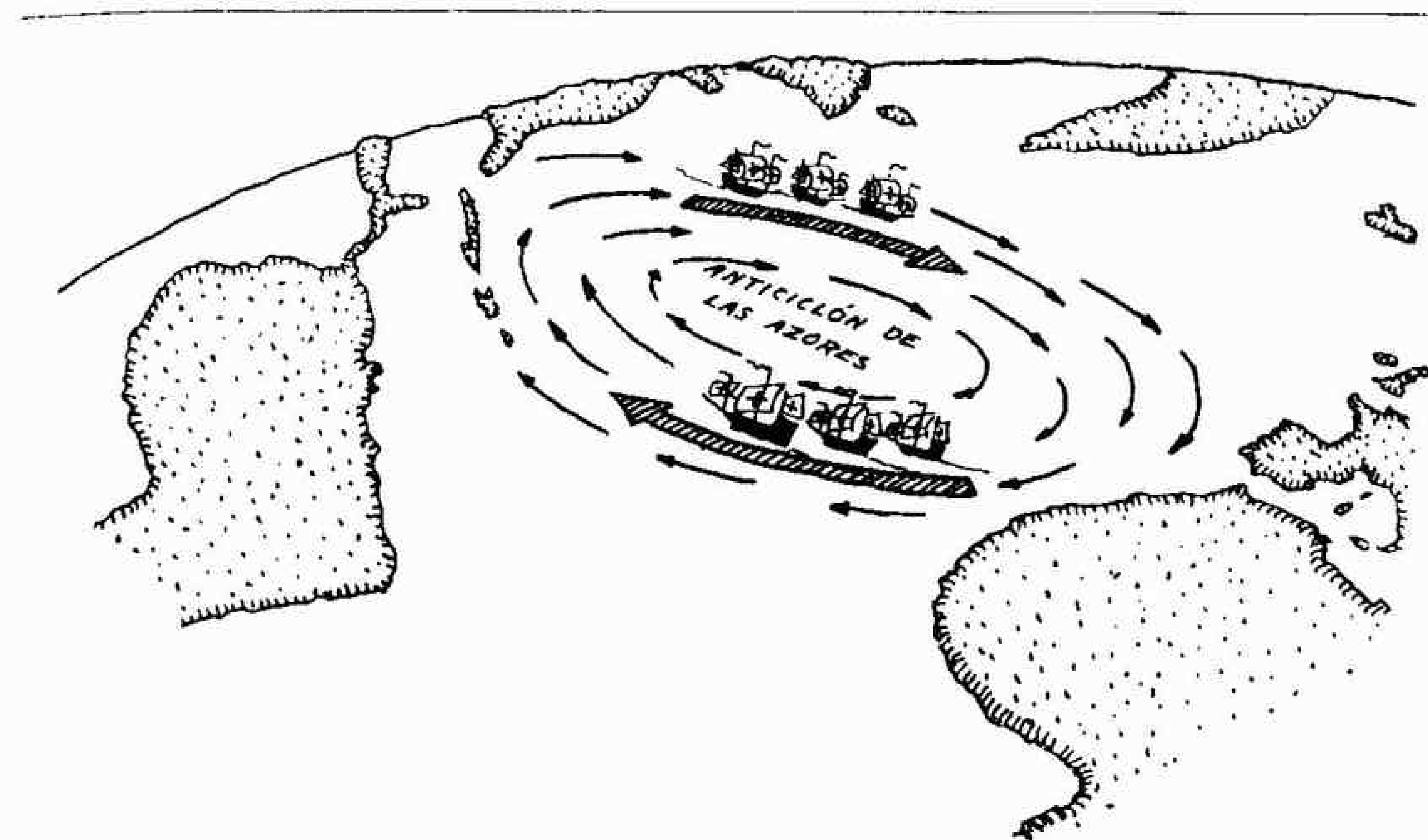
hombres. Por eso en la Mitología griega le fue asignado un dios, Eolo, el dios de los vientos, que los tenía encerrados en un zurrón y los sacaba cuando le parecía oportuno. Allí estaban todos; pero había cuatro más importantes que, al combinarse de dos en dos, daban origen a todos los demás. Esos cuatro vientos fundamentales correspondían a las cuatro direcciones primarias de nuestra rosa de los vientos: «Bóreas», o viento del norte; «Austro» o «Noto», que venía del sur; «Céfiro», que soplaba de poniente, y «Afeliote» o viento del este.

Cuando Eolo se quería divertir y asustar de paso a los pobres hombres abría el zurrón de golpe: los vientos salían todos a la vez y se organizaba una zarabanda de padre y muy señor mío. Así, al menos, lo cuenta Homero en uno de los cantos de su inmortal obra *La odisea*.

El viento ha tenido siempre algo de misterioso para el hombre. Entre las preguntas más corrientes que le hacen al meteorólogo en la conversación corriente está la de: «¿Por qué sopla el viento?», y también: «¿De dónde nace?» Ya hemos visto, en lo que va de libro, algo de esto. Pero hay bastante más.

En cada país existen determinados vientos que, por su importancia en la climatología local, tienen nombres propios antiquísimos: el *mistral* de Francia, el *helm* de Escocia, el *foehn* del Tirol, el *siroco* de Sicilia, el *bora* de Yugoslavia, los *etesios* de Turquía, los *buran* o *purga* del norte de Asia, los *shamal* del Iraq, los *seistam* del Irán, el *karaburan* de China, los *monzones* de India, los *brickfiel* de Australia, el *simun* o *chamsin* de Libia y Egipto, el *aabub* de Sudán, el *harmattan* de Nigeria y Guinea,





el *berg* del extremo sudoeste de África, el *pampero* de la costa argentina, el *chinook* del Canadá... Y en España, el *cierzo*, el *ábrego* o *llovedor*, el *gallego* o *regañón*, la *tramontana*, el *levante* o *llevant*, el *leveche*, el *terral*, el *solano*...

El hombre ha pensado siempre en *ríos* de viento distintos, individuales... hasta que se descubrió la «circulación general atmosférica».

De la época del descubrimiento y colonización de América datan los *alisios*, llamados por los ingleses *trade winds* o *vientos de travesía*, porque bajo su impulso iban las carabelas hasta las fabulosas Américas. Los *ponientes* del Atlántico Norte permitían el regreso de las mismas. Es difícil pensar cómo habría llegado Colón sin su existencia a descubrir el Nuevo Mundo y regresado a España alcanzando los títulos de almirante de la mar océana y duque de Ver-agua.

«El viento trae y lleva», dicen los hombres del campo en todas partes, refiriéndose a que un cambio de viento oportuno puede traer la benéfica lluvia, o inoportuno, arrastrarla lejos. El refranero español abunda en *dichos* sobre el particular. He aquí una muestra: «El viento que anda por San Juan (24 de junio), todo el año correrá», «El viento que corre por san Martín (11 de noviembre) dura hasta el fin», «El Sol lleva en verano al viento

de la mano», «El viento de san Matías (24 de febrero) dura cuarenta días», «Viento marzal, anuncia temporal»...

El tema es, pues, importante; es de profundo interés humano, como dicen los periodistas. Y merece la pena estudiarlo un poco.

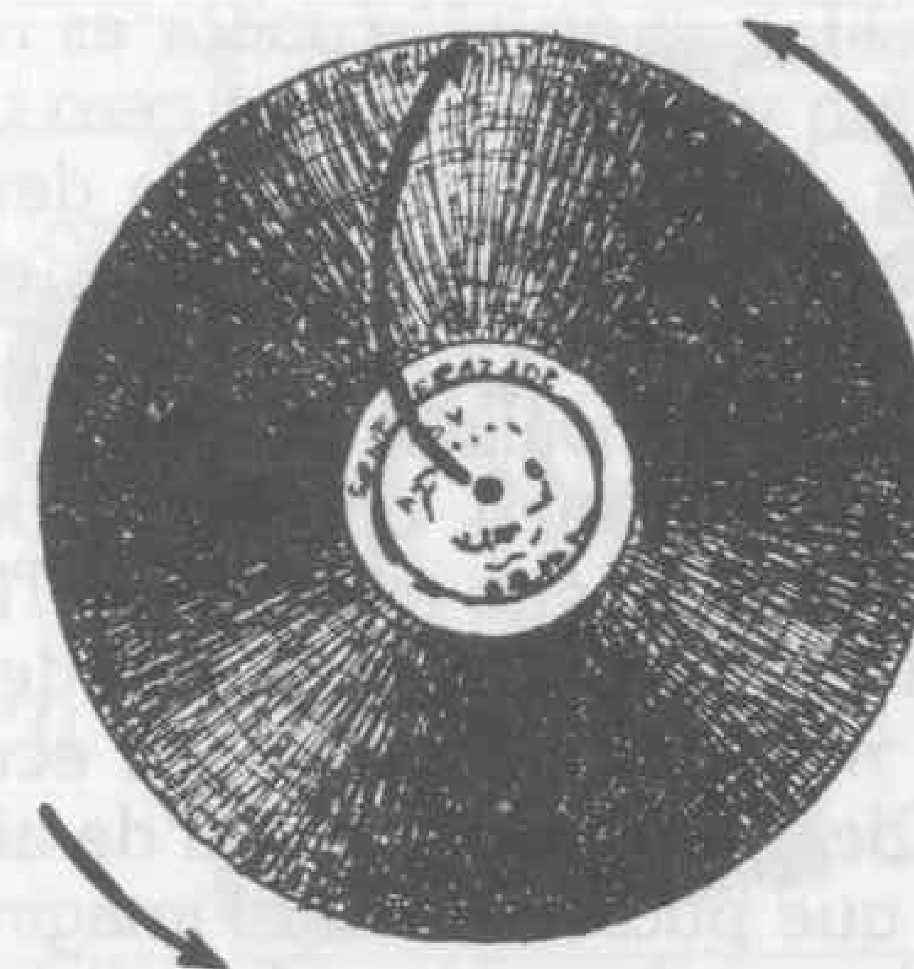
Vimos ya que las isobaras del mapa del tiempo eran *los caminos del aire*. También que los anticiclones suministran aire a las borrascas y que este suministro no se hace en línea recta, sino dando un rodeo. El saber el porqué de estos sucesos constituye un capítulo fundamental de la meteorología: de la meteorología dinámica. Y la respuesta es una sencilla ley física: la *ley de la fuerza desviadora de Coriolis*.

Coriolis fue un sabio cuyo nombre debe conocer todo aficionado a la meteorología. Su ley la expresa una sencilla fórmula matemática. Pero yo prefiero ponerles ejemplos palpables y guardarme las ecuaciones en el bolsillo.

EL DISCO EMBRUJADO

Usted puede hacer el siguiente experimento: tome un disco, un vulgar disco de gramola. Lo mismo da que contenga la *Quinta Sinfonía* de Beethoven que el último éxito de la melodía moderna. Pero eso sí, a cuanta más velocidad le ponga en el plato del tocadiscos, mejor. Una vez que esté dando vueltas, coja un trozo de tiza y trate de trazar una línea recta desde el centro del disco a un punto del borde. Aunque parezca cosa de brujas, *no lo conseguirá;* la raya dibujada mientras el disco gira





será siempre una curva, como la de la figura. La culpa es del disco, *que está girando,* de manera que se componen dos movimientos: el de la mano con la tiza (rectilíneo) y el del disco (circular). Conforme avanza su mano en dirección al borde, los sucesivos puntos por los que va pasando quedan retrasados —cada vez más— respecto a la línea que usted pensó, a causa del giro del disco. Si usted lo duda, haga realmente la prueba, se convencerá en seguida. Si alguien estuviese encima del disco, girando con él y siendo lo suficientemente corto de vista para no ver más allá del borde, a él le parecería que el disco estaba inmóvil, ya que no podía referir su movimiento a ningún punto fijo. Sentiría la misma sensación de inmovilidad que se nota viajando en avión en un día sereno si no se mira a la Tierra. A ese viajero del disco le parecería que *una fuerza actuaba sobre la tiza, desviándola de su trayectoria.* Esa fuerza, ficticia, es precisamente la *fuerza de Coriolis*.

La fuerza de Coriolis es una fuerza *aparente* que en realidad *no existe*, pero que hubo que inventarla como una necesidad para el cálculo, al referir los movimientos a la Tierra *considerada inmóvil;* pero sabemos que esto último no es cierto, ya que la Tierra está girando alrededor de su propio eje, a razón de una vuelta por día (15 grados de longitud geográfica por hora).

Se llama *plano del horizonte,* en un punto de la Tierra, a un plano tangente a la superficie terrestre en ese punto. Tal plano gira alrededor de la vertical del lugar con una determinada velocidad, que en los polos es igual que la de la Tierra (una vuelta

completa en 24 horas), que en el ecuador es nula y que en los demás lugares tiene un valor mayor que cero y menor que una vuelta cada 24 horas. Esto, que es fácil de demostrar matemáticamente, lo comprobó experimentalmente el físico Foucault con su famoso péndulo, de una gran longitud, que colgó de la bóveda del Panteón de los Inválidos de París, y que se describe en los libros de Física. Pues bien, un observador en reposo absoluto, en verdadero reposo, que mirase a la Tierra desde el espacio exterior, vería al plano del horizonte de un punto en el que se fijara (y que no fuera un punto del ecuador) girar alrededor de la vertical del lugar; a una masa de aire (que imaginamos coloreada para que pudiera verla el imaginario observador) que partiese en cualquier dirección sobre dicho plano, la vería seguir una trayectoria rectilínea; pero otro observador que esté quieto sobre el citado plano en la Tierra, gira con éste aunque él no se dé cuenta.

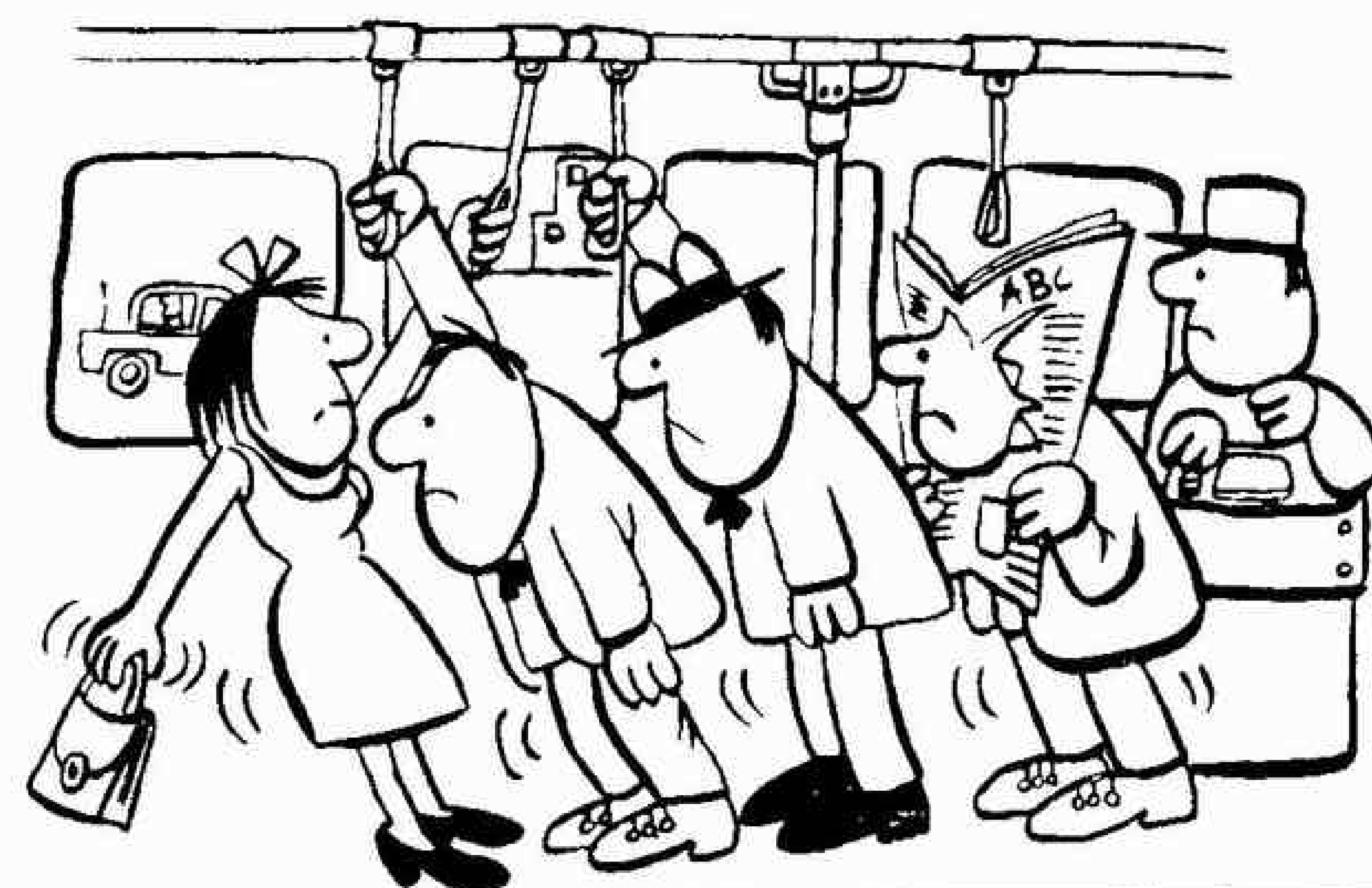
Dicho plano gira en el mismo sentido en que lo hace la Tierra; es decir, en sentido contrario a como lo hacen las agujas en un reloj, visto desde el hemisferio norte, y en sentido horario visto desde el hemisferio sur. Si suponemos el observador en el hemisferio norte, al rotar el suelo sus puntos van girando hacia la izquierda, mientras que el aire sigue su trayectoria rectilínea; pero al creerse el observador (el del suelo) en reposo, no tiene otra explicación, para su propio giro hacia la izquierda del viento, que *suponer que es el viento el que gira hacia la derecha*, y necesita inventarse la fuerza de Coriolis, desviadora del viento, para que las cuentas le salgan.

Visto desde el hemisferio sur, el giro de la Tierra y las desviaciones o giros citados son en sentido contrario a los dichos.

La aceleración de Coriolis es máxima en los polos y nula en el ecuador.

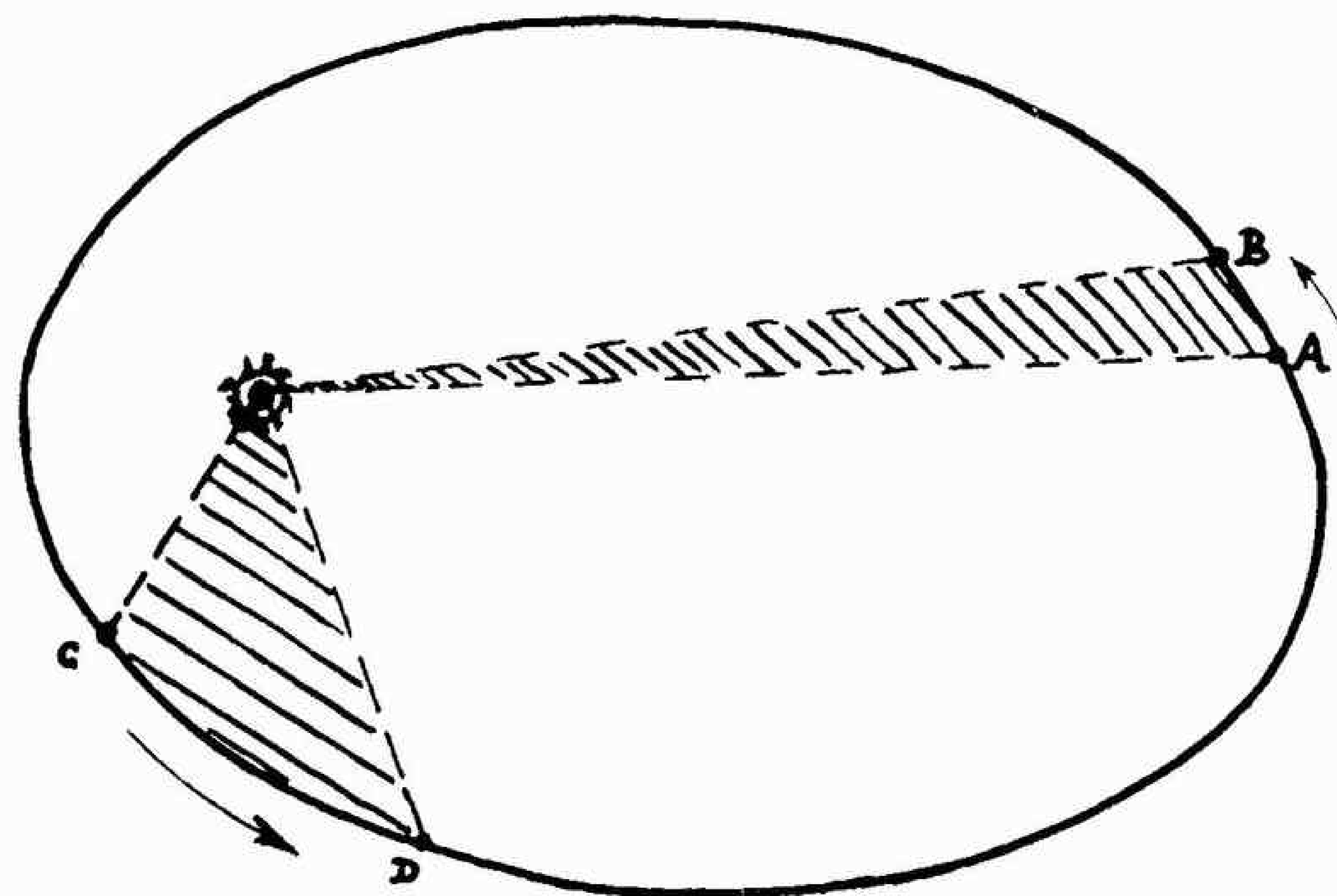
LA LEY DE LA INERCIA Y LA LEY DE LAS ÁREAS

Todos hemos observado que si un tranvía arranca de repente o frena bruscamente, la gente que va de pie se cae hacia atrás o hacia delante, respectivamente. Es debido a la *fuerza de la inercia*. Si subimos en un ascensor potente y arranca veloz, nos da la impresión de que nos pegamos contra el suelo. Si subiendo frena rápidamente o si arranca veloz para bajar, la sensación



es de quedarnos como flotando unos instantes. Todo ello es consecuencia del llamado «principio de la inercia». Que se expresa así: «Todo cuerpo en movimiento, sobre el que no actúan fuerzas desde afuera, tiende a conservar indefinidamente el movimiento, y si está en reposo, tiende a permanecer en él mientras no intervengan fuerzas exteriores.» Si el que patina sobre el hielo no llevase cuchillas en los patines, sino una media esfera de cristal con la parte curva sobre el hielo, no podría pararse nunca, ni doblar a la derecha o a la izquierda: seguiría una recta a velocidad constante hasta que se acabase el hielo o hasta que se estrellase contra un obstáculo. Esto si alguien lo hubiese em-





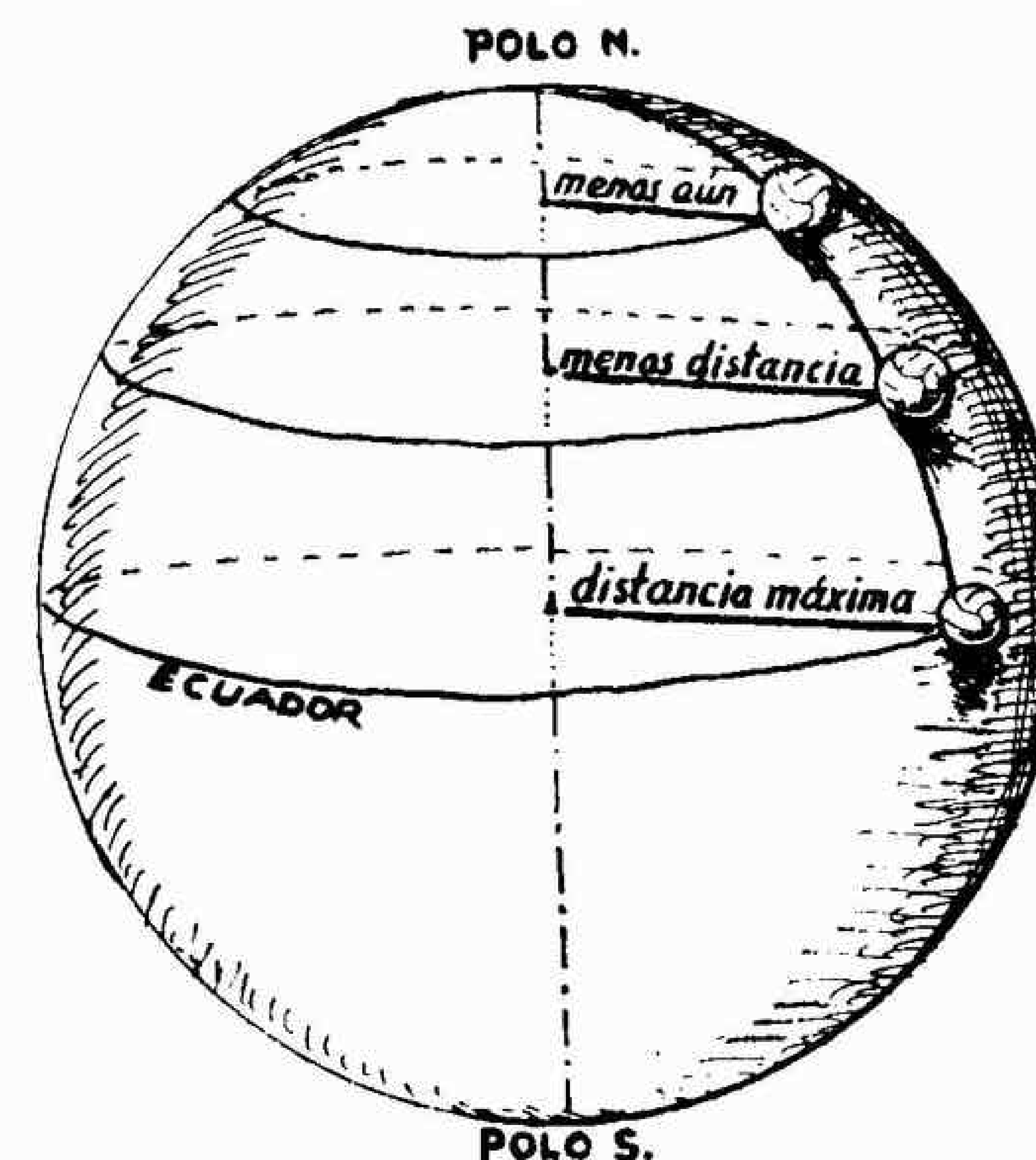
pujado; porque si lo hubiesen colocado en el centro de la pista y lo hubiesen dejado allí de pie y solo, sin que nadie lo empujase, jamás podría empezar a patinar, por más esfuerzos que hiciese: si levantase una pierna hacia atrás, se le inclinaría el cuerpo hacia delante, de manera que *su centro de gravedad permanecería inmóvil.*

Esta «ley de la inercia» no vale para movimientos con trayectoria curva; para éstos hay otra ley, equivalente a la de inercia, que se llama «ley de las áreas». Fue establecida por el astrónomo Kepler al estudiar el movimiento de los planetas y dice así: «*El radio vector* (o trozo de recta) que va del Sol al planeta, *barre* áreas iguales en tiempos iguales.» En el caso de la figura, el planeta tarda en ir de A a B el mismo tiempo que en pasar de C a D, porque las que tienen que ser iguales no son las porciones de trayectoria AB y CD, sino las áreas rayadas.

LA TIERRA GIRA

Ahora piensen en la Tierra girando alrededor de su eje; el giro es de oeste a este. Imaginen un hombre sentado en un punto del ecuador y otro al lado de un polo: los dos dan una vuelta

completa, de oeste a este, en veinticuatro horas alrededor del eje de la Tierra. Pero mientras el que está junto al polo se traslada muy despacito, el que está en el ecuador lo hace muy veloz. Supongan que el hombre que está en el ecuador tiene un balón de fútbol y le da un violento puntapié en dirección al polo; mejor aún, dispara una antigua granada de cañón esférica con la fuerza suficiente para llegar hasta el polo, al cual apunta con su cañón: no llegará nunca. Porque al estar en el ecuador, la granada está animada de una gran velocidad de traslación hacia el este; al ser lanzada en línea recta hacia un polo irá pasando por lugares de la Tierra que van estando a menos distancia cada vez del eje de giro. La velocidad con que el suelo se mueve hacia el este va siendo progresivamente menor. Pero la granada estaba al principio en el ecuador, moviéndose al mismo tiempo que el suelo alrededor del eje de la Tierra; y a medida que la granada se traslada hacia el polo disminuye su distancia al eje de la Tierra y como, según la ley de las áreas, la distancia o trozo de recta que separa la granada del eje de giro ha de barrer la misma área que cuando estaba en el ecuador, resulta que al ser más corta la distancia ha de girar un ángulo mayor para



que el área barrida sea la misma. Es decir, la granada se mueve entonces hacia el este más deprisa que cuando estaba en el ecuador; y al mismo tiempo el suelo lo hace más despacio que el del ecuador. La consecuencia es que, al mismo tiempo que viaja hacia el polo, se irá moviendo hacia el este con velocidad cada vez mayor en relación con el suelo. Es como si sobre la granada actuase una fuerza misteriosa que la desvía de su trayectoria: es la *fuerza desviadora de Coriolis*. Es la misma fuerza a que nos hemos referido antes al hablar de «El disco embrujado», explicada ahora mediante un razonamiento distinto.

Si hubiese ocurrido al revés, la granada disparada desde el polo hacia el ecuador a lo largo de un meridiano terrestre tendría una velocidad hacia el este siempre menor que la del suelo sobre el que va pasando, y tanto más pequeña cuanto más se alejase del polo. La granada se iría quedando retrasada, *como si una fuerza misteriosa la empujase hacia el oeste*. En cualquier caso, pues, lo mismo si se dispara del ecuador hacia el polo, que del polo hacia el ecuador, la granada *siempre se desvía hacia la derecha de su trayectoria* inicial.

Resumiendo: Para un observador que *creyese* a la Tierra inmóvil, la granada en movimiento se desviaría a la derecha de su trayectoria en el hemisferio norte. Si repiten el razonamiento para el hemisferio sur, llegarán a la conclusión de que en él la desviación sería siempre a *la izquierda* de su trayectoria.

Exactamente igual le ocurre al aire. Cualquier masa de aire que trate de viajar del ecuador al polo, o al revés, sufrirá la acción desviadora de la fuerza de Coriolis, convirtiéndose en un viento de componente oeste o de componente este, respectivamente. La regla es también válida si se trata de movimientos hacia el este o hacia el oeste. Si disparamos la granada hacia el este, resulta que gira alrededor del eje de la Tierra *más deprisa que el suelo*; es decir, tiene un movimiento anómalo para el lugar en que está y busca automáticamente ocupar el lugar que le corresponde según su nueva mayor velocidad; por eso se va hacia el ecuador (donde el suelo se mueve más deprisa), desplazándose hacia *su* derecha si está en el hemisferio norte y hacia *su* izquierda si en el hemisferio sur; y si con ello no es bastante *se eleva* (como si perdiera peso) hasta encontrar un radio de giro que cumpla la ley de las áreas. Por el contrario, si el impulso inicial es hacia el oeste, la granada *sigue moviéndose hacia el este, pero más despacio que el suelo;* entonces busca su lugar de equilibrio disminuyendo su distancia al eje de la Tierra, es decir, marchándose hacia el polo o acercándose al suelo, cayendo como si pesase más.

En resumen: Todo cuerpo (incluido el aire, naturalmente) que se mueve paralelamente al suelo se desvía hacia la derecha de su trayectoria si está en el hemisferio norte y hacia la izquierda si en el hemisferio sur. Si, además, el movimiento es hacia el este, pierde peso, elevándose; y si es hacia el oeste, aumenta de peso, cayendo, en cualquier hemisferio. Las elevaciones y descensos por esta causa, son muy pequeños comparadas con la desviación hacia la derecha o a la izquierda citadas; y despreciables también frente a los ascensos y descensos que sufre el aire en las borrascas y en las tormentas.

EL VIENTO EN ANTICICLONES Y BORRASCAS

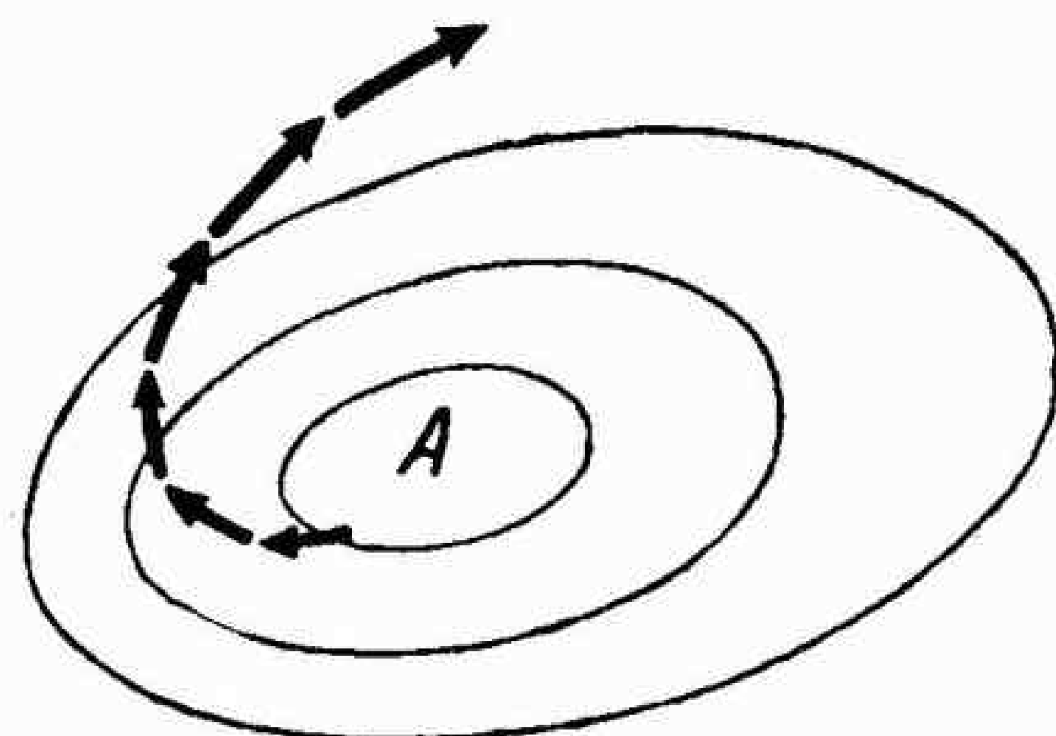
Consideren ahora un anticiclón. El aire que despide seguiría, si la Tierra no girase, una trayectoria rectilínea desde el anticiclón a la borrasca atravesando las líneas isobaras. Pero en cuanto ese aire se pone en movimiento, experimenta la acción desviadora de Coriolis hacia la derecha de su trayectoria (suponiendo que ocurra en el hemisferio norte). Y aunque siempre sigue con tendencia a escapar, no lo hace por la recta, sino que va encurvando su trayectoria describiendo una especie de espiral que va contorneando el anticiclón en el mismo sentido en que se mueven las agujas en un reloj.

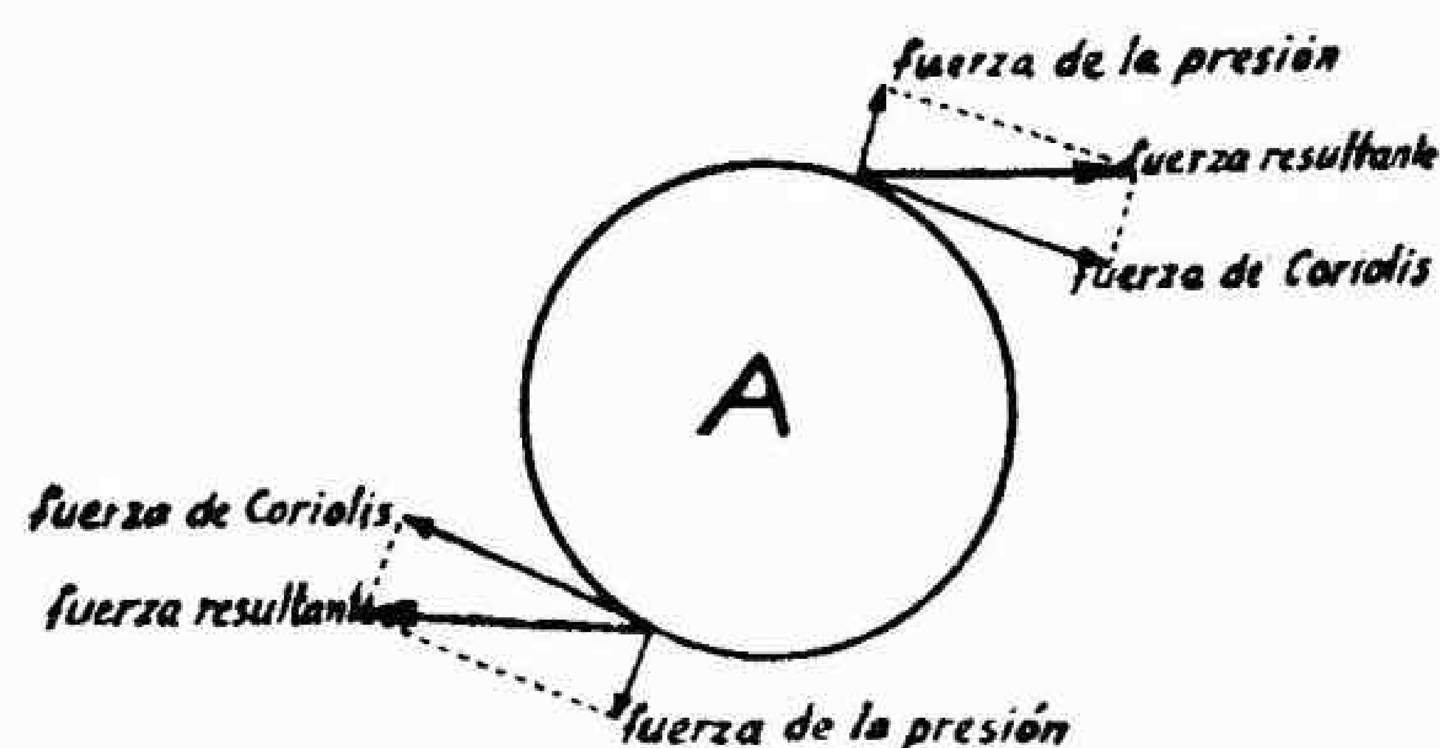
La figura siguiente trata de dar una explicación gráfica del fenómeno: la *fuerza de la presión* tiende a llevar el aire directamente a la borrasca; la fuerza de Coriolis tiende a desviarla hacia su derecha; la fuerza resultante es una trayectoria intermedia.

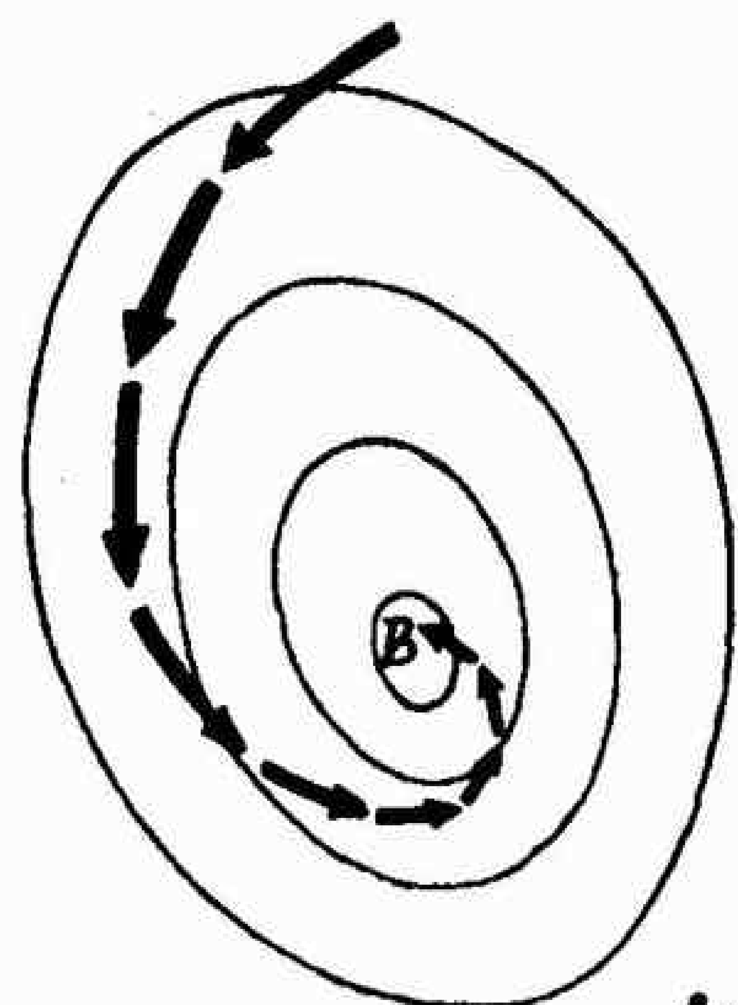
En una borrasca, como trata de indicar la figura (pág. 59), las cosas ocurren de tal modo que el viento, siempre con tendencia a meterse en el interior, lo hace describiendo una amplia curva que contornea a las bajas presiones en sentido contrario a como se mueven las agujas en un reloj.

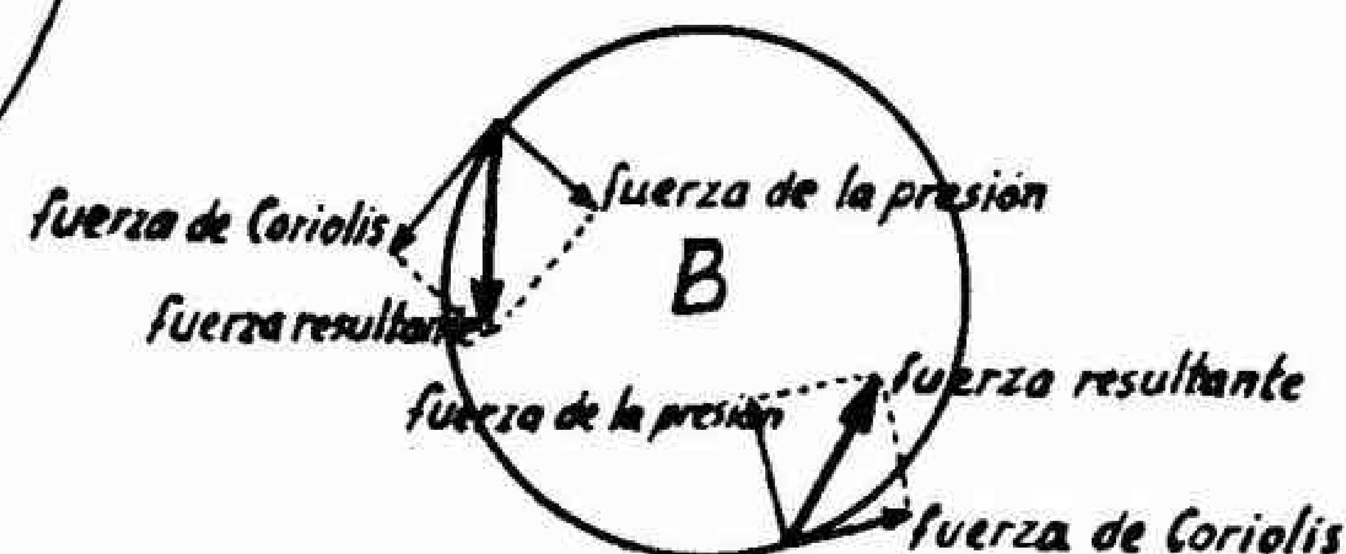
Como en el hemisferio sur la fuerza desviadora es hacia la izquierda de la trayectoria, el sentido de cincunvalación del viento en borrascas y anticiclones es exactamente el contrario que en el hemisferio norte.

Todo lo anterior demuestra que las líneas isobaras son sólo









aproximadamente —como ya sabíamos— trayectorias del viento, *sus caminos*, como les llamé más atrás. Hay, además, otras fuerzas que actúan sobre el aire en movimiento. Son, principalmente, el *rozamiento* contra el suelo, que ayuda al aire a cruzar las líneas isobaras para escapar de los anticiclones y meterse en las borrascas; y la *fuerza centrífuga*, que nace cuando el aire sigue trayectorias curvilíneas acusadas, la cual le ayuda a escapar de los anticiclones, pero dificulta su entrada en las borrascas, por lo que en las proximidades de éstas aumenta la velocidad del viento que gira a su alrededor, al ir acumulándose aire que llega y que encuentra dificultades para penetrar en el interior.

Es de advertir que la fuerza desviadora de Coriolis es máxima en los polos y es nula (no existe) en el ecuador. En las proximidades de éste, el viento fluye casi directamente de las altas a las bajas presiones, por ser muy débil la fuerza desviadora. No obstante y en primera aproximación, cuando vean las isobaras del mapa del tiempo, no hay inconveniente en que deduzcan de ellas la dirección dominante de los vientos.

UN ESQUEMA DE LA CIRCULACIÓN GENERAL ATMOSFÉRICA

Llegó ya la hora de considerar a la Tierra por completo. Y no sólo a la Tierra, sino también al Sol. Porque es el Sol



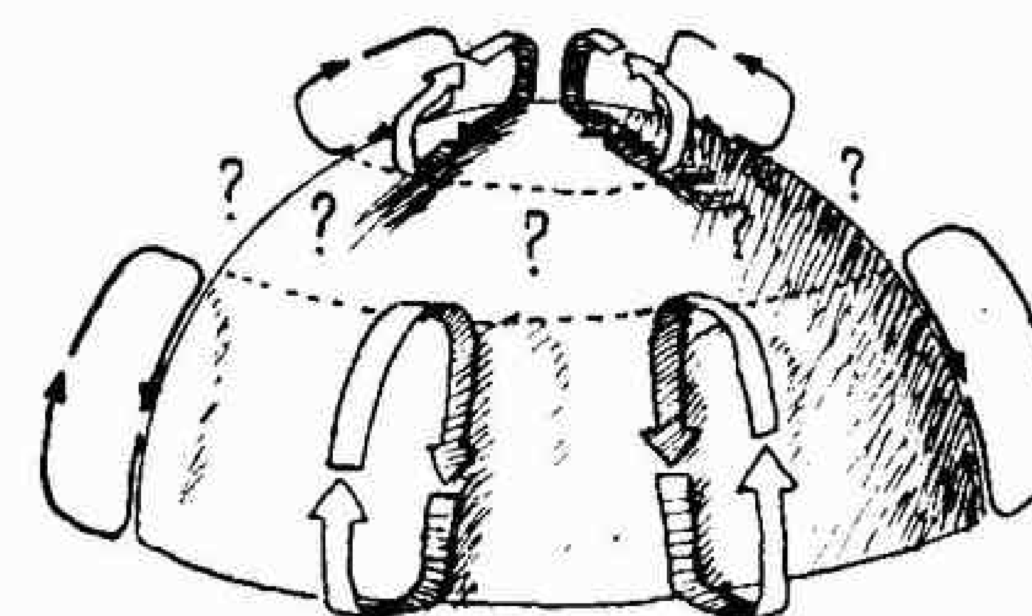
quien pone la energía necesaria para que funcione la máquina atmosférica.

Sobre el ecuador, el aire recalentado por contacto con el suelo caliente se hace más ligero y se eleva. Como no se puede acumular indefinidamente arriba, se dirige por los altos niveles hacia los polos. A medida que camina hacia el polo sufre la acción desviadora de Coriolis, encurvándose su trayectoria hacia su derecha en el hemisferio norte y hacia su izquierda en el hemisferio sur. La desviación es tan fuerte que, a unos 30 grados de latitud (Canarias, New Orleans, Porto Alegre, Coquimbo), sigue ya el aire una dirección oeste-este, soplando como viento de poniente. Al mismo tiempo, ya enfriado el aire, va cayendo, y una vez en el suelo retorna al ecuador. Pero en este nuevo viajar vuelve a intervenir Coriolis, de manera que al llegar a la zona subtropical es ya un viento del nordeste en el hemisferio norte, y del sudeste en el hemisferio sur: son los alisios.

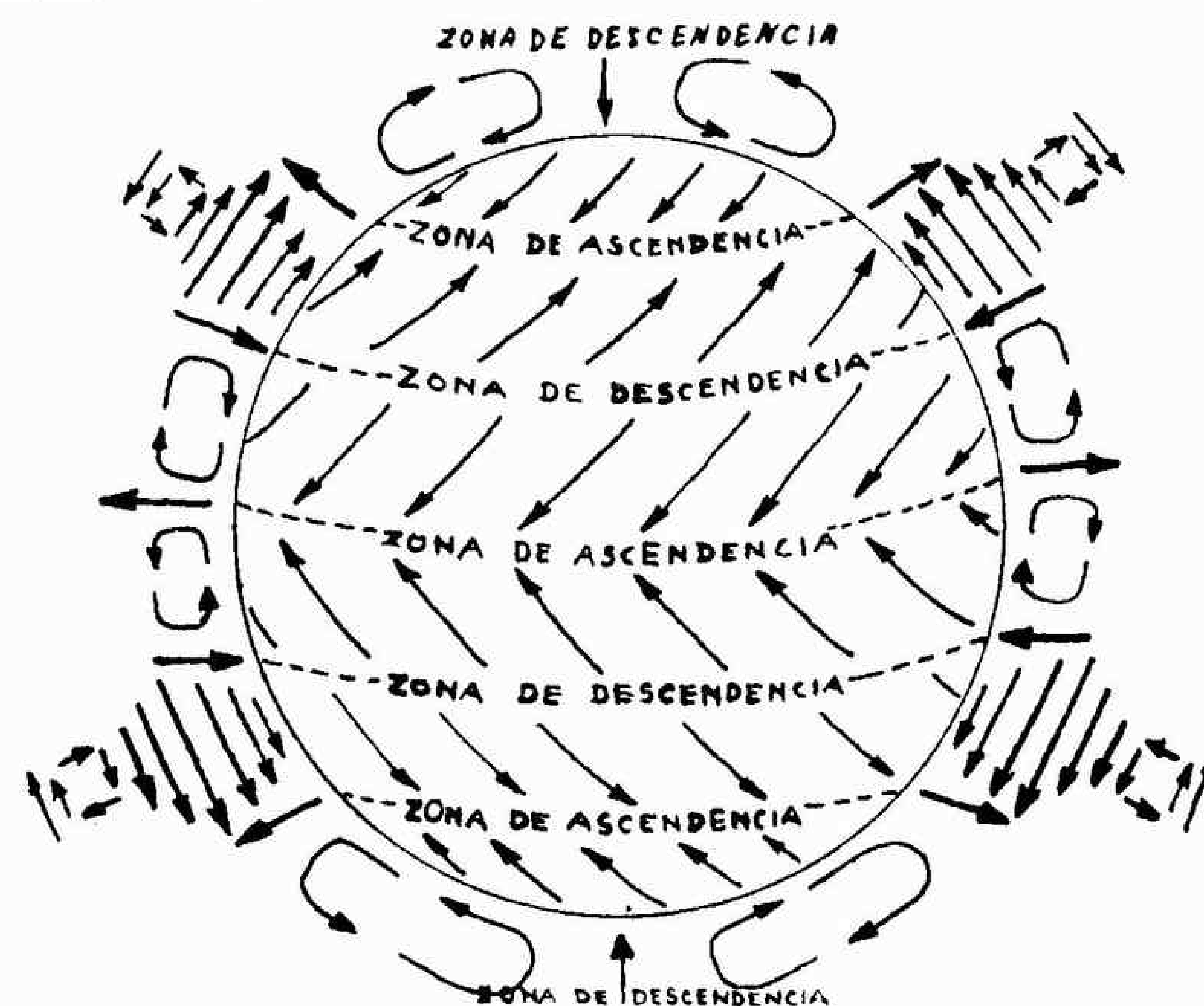
En los polos ocurre lo contrario. Al acumularse en ellos aire frío y pesado, abandona el casquete polar a ras del suelo. En cuanto comienza su viaje interviene la fuerza desviadora de Coriolis, que lo convierte, en viento del nordeste en el hemisferio norte, y del sudeste en el hemisferio sur. Cuando, a fuerza de alejarse del polo, se ha calentado lo suficiente, asciende, volviendo al polo por arriba, como viento del sudoeste en el hemisferio norte, y como viento del noroeste en el hemisferio sur. Sobre el polo desciende y se cierra el ciclo.

APARECE UN ANTIGUO CONOCIDO

En la figura pueden también comprobar que nos quedan unos huecos. En realidad es uno solo en cada hemisferio, pero que da la vuelta a la Tierra. Es, justamente, entre el lugar donde baja al suelo el aire procedente del ecuador y la región donde sube a las capas altas el procedente del polo. Porque ambos recorridos o ciclos no se conectan entre sí. La zona a que nos referimos está señalada en la figura con unos interrogantes. Y la pregunta surge sola: ¿Qué ocurre en esa zona que es precisamente la de las latitudes templadas? Es fácil de deducir. En primer lugar, hay aire. En segundo lugar, es aire más caliente que el polar y más frío que el subtropical: por eso es la zona templada. En su borde que mira al polo, este aire se comporta



como caliente, tendiendo a ascender, movimiento que es favorecido por la corriente ascendente del aire polar que hay en ese borde. En el otro lado, en su borde ecuatorial, se comporta como aire frío, que tiende a bajar, cuya tendencia es favorecida por la corriente descendente de aire ecuatorial que hay en ese lado. La única manera lógica de cerrar el ciclo es con vientos



del norte por las capas altas y con vientos del sur en las bajas, en el hemisferio septentrional. Lo que significa que en las latitudes templadas hay junto al suelo vientos de componente sur en el hemisferio septentrional (y de componente norte en el meridional). Tales vientos, bajo la acción desviadora de Coriolis, resultan del sudoeste en el hemisferio norte y del noroeste en el hemisferio sur. En niveles altos, dichos vientos serán al revés; es decir, del nordeste en el hemisferio septentrional y del sudeste en el meridional. Pero tal modo de cerrarse el ciclo en las latitudes templadas ocurre muy arriba, en la estratosfera, mientras que en las demás zonas ocurre a niveles menos altos, dentro de la troposfera. En la zona templada el viento es análogo en dirección al de las capas bajas dentro de todo el espesor de la troposfera, es decir, dentro de los primeros once kilómetros de espesor; y aún sigue siendo del sudoeste (hemisferio norte) o del noroeste (hemisferio sur) dentro de la estratosfera en bastantes kilómetros, debilitándose según se sube hasta que se encalma, invirtiéndose su sentido más arriba, y aumentando entonces su fuerza según se considere un nivel más alto.

Con tal distribución de vientos volvemos a encontrarnos, aparte de otras cosas, con nuestro antiguo conocido el frente polar. En efecto, los vientos de la zona templada transportan aire tropical. Los que bajan desde el polo, llevan aire polar. Ambas clases de aire chocan, con direcciones de viento opuestas, en la zona marcada como de ascendencias en la figura. Y la línea de choque es, ni más ni menos, el frente polar.

DESCUBRIMOS MÁS COSAS

¡Y tantas! Pero vamos por partes para que no se nos indigesten.

Ya vimos que las regiones anticiclónicas despiden aire y las ciclónicas (borrascas) lo succionan. Fíjense ahora en la figura anterior: la franja que separa el aire tropical (el de la zona templada) del subtropical, llamada en la figura «zona de descendencia», tiene junto al suelo vientos, a un lado y a otro, que *divergen*, es decir, el aire escapa de esa región; y es porque el aire que está acudiendo a ella desde las capas altas se va acumulando abajo y es expulsado hacia el norte y hacia el sur. Es, pues, una zona anticiclónica.

Por el contrario, la franja que separa en el suelo el aire tropical del aire polar tiene, a un lado y al otro, vientos que *convergen*, que tienden a penetrar en ella. Es, pues, una zona ciclónica o de borrascas. Coincidiendo con ella está el frente polar, que recordarán era un magnífico *productor de borrascas*. Todo encaja, como ven. Lo cual es un buen síntoma de que los razonamientos van con lógica.

En principio tenemos, según lo visto, el siguiente esquema desde el polo al ecuador:

1. Sobre el polo un anticiclón, puesto que el aire se acumula en él bajando de las capas altas y sale expulsado por el suelo.
2. Una zona de borrascas o bajas presiones festoneando el frente polar: es a la que acuden, en el hemisferio norte, vientos polares del nordeste por un borde y vientos tropicales del sudoeste por el borde opuesto. Su posición suele oscilar alrededor de los 60 grados de latitud. En el hemisferio sur los vientos polares son del sudeste y los tropicales del noroeste.
3. Una zona de anticiclones que expulsa vientos del sudoeste hacia las regiones templadas y del nordeste (los alisios) hacia la región ecuatorial en el hemisferio norte. En el hemisferio sur, expulsa vientos tropicales del noroeste y alisios del sudeste. Como se ve, los vientos de la zona templada tienen una marcada componente del oeste, en ambos hemisferios; por ello en inglés los llaman *Westerlies* y nosotros podemos llamar a la zona templada «zona de los ponientes».
4. Una zona de calmas en el cinturón ecuatorial; es decir, sin vientos sobre la superficie terrestre, pero con fuertes corrientes verticales ascendentes: se trata de las bajas presiones ecuatoriales, a las que acuden los alisios del nordeste en el hemisferio septentrional y los alisios del sudeste del hemisferio meridional. En la zona ecuatorial *convergen*, por tanto, los alisios de los dos hemisferios, formando una especie de frente: el «frente intertropical», que se caracteriza por tremendos movimientos ascensionales del aire y fortísimas tormentas. Hay autores que no gustan de llamar frente a esa zona, y la denominan simplemente «zona de convergencia intertropical», escribiéndose abreviadamente así: ZCIT. También para el frente correspondiente se abrevia su escritura, por tener un nombre tan largo, poniendo FIT.



Con este último aparecido, ya pueden ustedes decir que conocen, a grandes rasgos, la circulación general de la *máquina* atmosférica. Pero esto no es más que un esquema a gran escala. Hay todavía muchas cosas importantes de que hablar, antes de poder comprender bien por qué a veces nos viene mal tiempo.

CAPÍTULO IV

LOS NIVELES ALTOS

Muchos de ustedes habrán observado que en los programas de la TV sobre el tiempo no siempre aparece el «mapa de superficie» con sus milibares y sus frentes. En ocasiones, sobre todo en verano, aparece otro que representa las condiciones reinantes en otros niveles más altos de la atmósfera; casi siempre a unos 5.500 metros de altitud, *aproximadamente*. Porque mu-



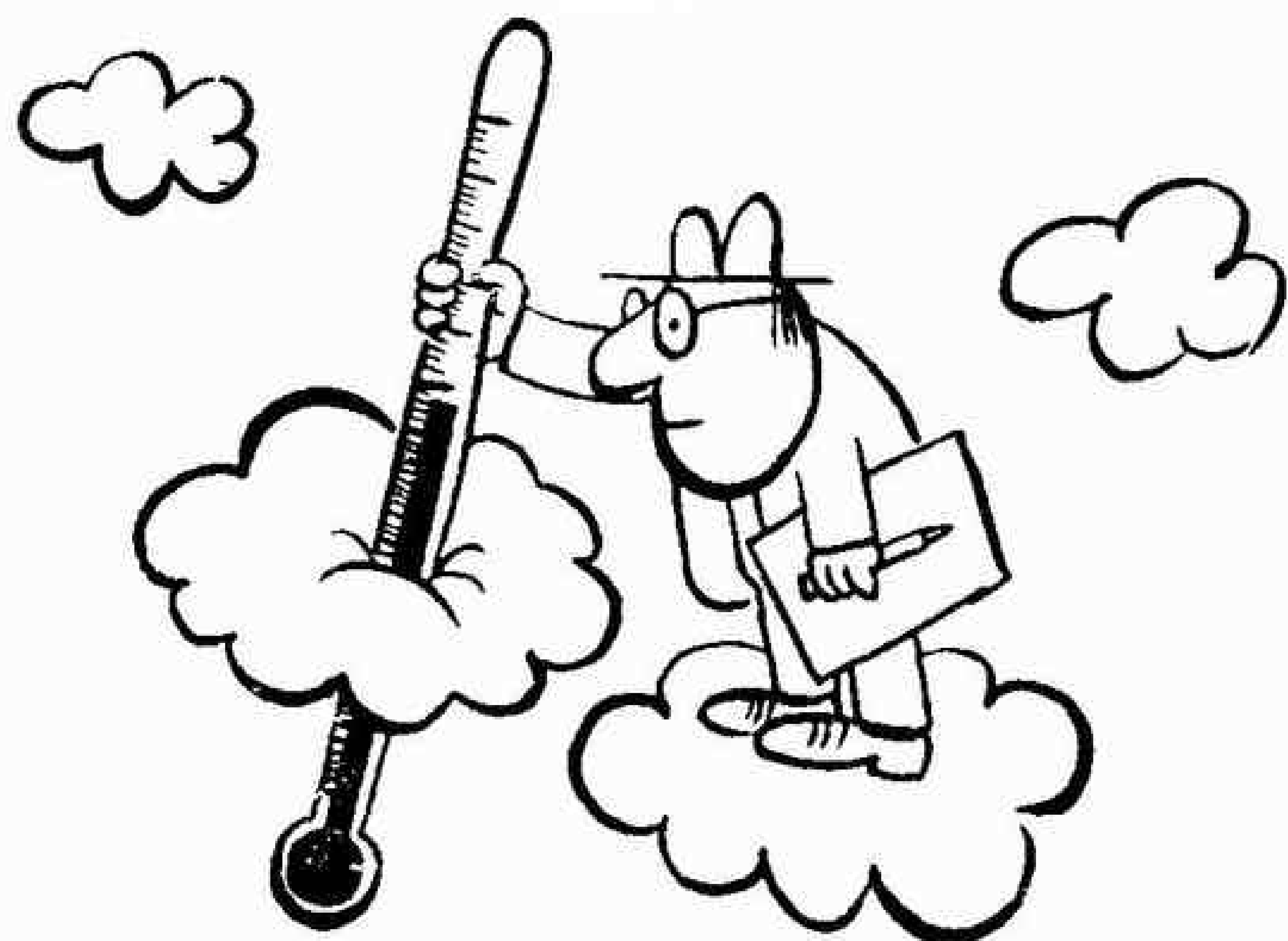
chas veces el mapa de junto al suelo no dice nada, o dice muy poco. Y hay que subir más arriba para explorar la atmósfera y tratar de ver si nos prepara alguna sorpresa. Y es natural que se hayan preguntado: «¿Cómo se obtienen esos mapas? ¿De dónde se los saca el hombre del tiempo?» Y también esta otra: «¿Por qué, casi siempre que saca un mapa de niveles altos, es el de 5.500 metros de altitud aproximada?» De hecho, estas preguntas aparecen en muchas de las cartas recibidas por mí. Trataré, en este capítulo, de explicarlo.

OBSERVATORIOS QUE VUELAN

Igualmente habrán oído muchas veces por la radio frases como ésta: «El radiosondeo hecho de madrugada en tal, o cual, estación aerológica, denuncia una atmósfera estable.»

La meteorología moderna dispone de aparatos para hacer sondeos a la atmósfera, para observarla y efectuar mediciones en su seno hasta grandes altitudes, conociendo así cómo varían la temperatura, la presión atmosférica y la humedad del aire al ascender en su interior.

Hace bastantes años esto se hacía con cometas que arrastraban el aparato registrador; no se podían alcanzar grandes alturas, pues la cuerda pesaba mucho, y tanto más cuanta más se diese, es decir, cuanto más alto volase la cometa; pero era indispensable para recobrar el aparato registrador y leer las mediciones en él registradas. Fue sustituido por el «sondeo en avión», que se ha estado realizando hasta hace quince o viente años y que no ha desaparecido del todo: es muy exacto, pero no se alcanzaban alturas suficientes con los aviones utilizables cuando empezó a abandonarse el método; resulta, además, caro. Poco a poco se fue sustituyendo por el «radiosonda», aparato más económico, que puede salir sin riesgo con cualquier clase de tiempo y que alcanza fácilmente altitudes de 20.000 a 30.000 metros... y a veces más según la calidad de la goma del globo que arrastra el pequeño observatorio volante.



Hoy día, los meteorólogos cuentan también con una ayuda tan importante como la de los radiosondas para sondear la atmósfera. Se trata de los *satélites artificiales*, que poseen sistemas muy perfeccionados y sensibles para sondear la atmósfera «de arriba abajo» (véase al respecto el capítulo 13).

UN OBSERVATORIO EN MINIATURA

El radiosonda no es más que un observatorio que transmite sus propios partes continuamente. Para ello va provisto de una minúscula emisora de radio en onda corta, alimentada con pilas. Es capaz de medir la presión atmosférica, la temperatura y la humedad del aire por el que va pasando. La presión la mide con unas «cápsulas de Vidi», que son como unas cajitas metálicas redondas y aplastadas, herméticamente cerradas y que llevan hecho el vacío en su interior. Son iguales que las que llevan dentro esos barómetros que suele haber en muchas casas y que se conocen como «barómetros de despacho». Estas cápsulas son el elemento fundamental de todos los tipos de barómetros «aneroides», es decir, de los que no son de mercurio. Se aplastan cuando aumenta la presión externa y se dilatan al disminuir ésta. Una varilla soldada perpendicularmente a una de sus caras va a tocar sobre una resistencia eléctrica variable, tocando en puntos distintos, según sea la presión. Para cada valor de la presión es distinto el valor de la resistencia eléctrica puesta en juego por la varilla.

La temperatura la mide el radiosonda con una varillita muy fina hecha de una cerámica especial, cuya resistencia eléctrica es distinta para cada temperatura.

La humedad se mide mediante una lámina de plástico espe-

cialmente barnizada con un compuesto de litio, cuya resistencia eléctrica varía con la humedad que absorbe.

Además, se puede medir indirectamente desde tierra la dirección y velocidad del viento reinante en cada nivel, siguiendo al globo continuamente y registrando su posición de una manera que recuerda bastante al radar, o con el radar mismo.

Como ven se trata de un verdadero observatorio en pequeño, que registra todos los datos necesarios para construir los mapas de niveles altos. ¿Cómo transmite esos datos a tierra? Por medio de su emisora de radio, que es una maravilla de miniaturización. El circuito de ésta contiene ingeniosamente intercaladas las cápsulas de presión con su resistencia variable, la varilla termométrica de cerámica y la lámina de la humedad. Un conmutador dispone que entren sucesivamente y siempre en el mismo orden en el circuito de la emisora los elementos que miden la presión, la temperatura y la humedad. Tales elementos introducen su propia y variable resistencia eléctrica, modificando la frecuencia de la onda de radio que emite la emisora. Tales variaciones de frecuencia son distintas para cada temperatura, para cada presión y para cada humedad. Ello se traduce, en el aparato receptor de tierra, en distintas señales que, en los primeros



tiempos se reconocían *a oído* pero que actualmente se van registrando por una máquina de imprimir acoplada al receptor y que funciona automáticamente.

De los datos anteriores se calcula la altitud a que está el radiosonda en cada instante y lo que se llama la «curva de estado de la atmósfera». Esta curva nos permite conocer de un solo golpe de vista cómo varían la presión, la temperatura y la humedad con la altitud en el seno del aire. También se deduce de ella la «estabilidad» o la «inestabilidad», la presencia de frentes de lluvia cercanos, el riesgo de nieblas, la temperatura máxima probable...

A medida que sube, el globo que arrastra al radiosonda se va haciendo más y más voluminoso, puesto que la presión exterior va disminuyendo. Llega un momento en que estalla. Entonces cae el radiosonda y se abre un pequeño paracaídas que lo deposita en tierra. La emisora sigue funcionando hasta que se agotan las pilas. El aparato puede caer a muchos kilómetros de distancia (a veces miles) de donde se lanzó, si los vientos lo arrastraron. Si usted, por casualidad, encuentra alguno, devuélvalo al Servicio Meteorológico, que es su propietario, dentro de la caja que lo contiene, que es poco mayor que una de zapatos; van en un sobre las instrucciones para su devolución.

LOS ALTÍMETROS SON INEXACTOS

Los observatorios especiales que tienen equipo de radiosondeo se llaman «estaciones aerológicas». No son, ni mucho menos, tan numerosos como los que hacen observaciones corrientes. En vez de contarse por miles en el mundo, se cuentan por centenares. Son muchos de todas formas. Y constituyen la «red aerológica internacional». Con sus observaciones y las de los satélites artificiales se construyen los mapas de altos niveles dos veces al día.

Cuando un radiosonda asciende en el aire, no da la altura a que se encuentra, como ya hemos visto; da la presión, la temperatura y la humedad. La altitud se calcula en tierra, deduciéndola de los otros datos. Porque la altitud depende, precisamente, de la presión, de la temperatura y de la humedad. Esto quiere decir que los altímetros que llevan los aviones o los que utilizan los alpinistas y espeleólogos no son exactos, porque son en rea-

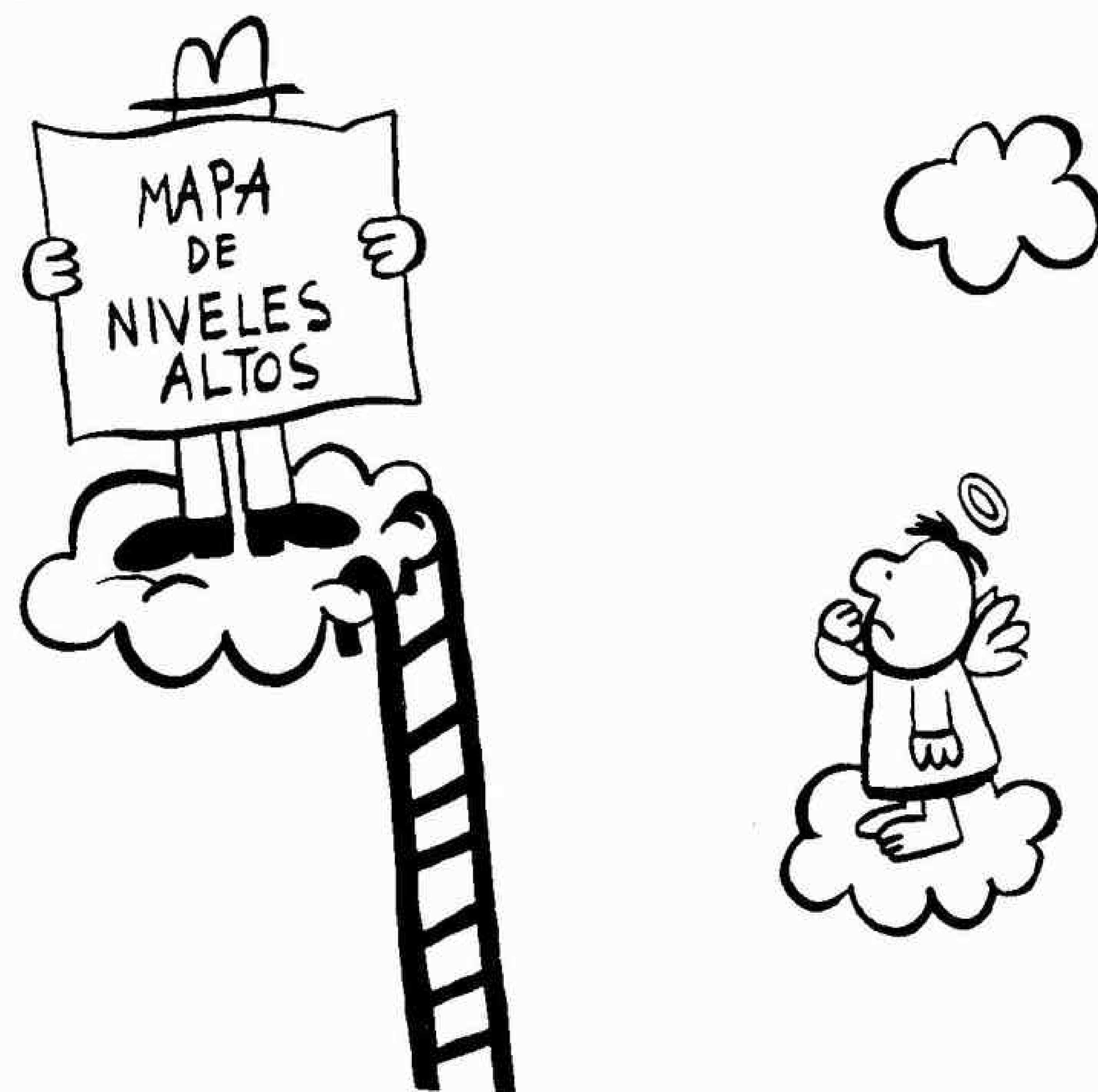
lidad barómetros graduados en altitudes, sobre la base de equiparar una subida de unos ocho metros (o más si se está alto) por cada milibar de descenso de la presión. Esto no es exacto por la sencilla razón de que el aire es más o menos denso, según la temperatura a que se encuentre y según la humedad que contenga. Cuanto más caliente esté el aire, menos densidad tiene, menos pesado es. También es el aire menos denso cuanta más humedad contiene. Cuando el aire es muy poco denso, hace falta subir mucho para que la presión baje una determinada cantidad, que se lograría mucho antes si el aire fuese muy denso. Cuando hay borrasca, el aire *suele* ser cálido y húmedo, es decir, poco denso. Lo contrario ocurre cuando hay anticiclón. Los pilotos de aviones saben perfectamente que *cuando vuelan en un área de baja presión, el altímetro suele mentir por exceso*, es decir, suele marcar una altitud mayor de la que realmente están volando. Y por el contrario, *si vuelan en área anticiclónica, el altímetro les suele marcar por defecto*, o sea que les señala una altitud inferior a la que realmente están.

El primer caso puede resultar peligroso. Claro que los pilotos están advertidos por anticipado y pueden corregir sus altímetros mediante las informaciones de los observatorios meteorológicos. Las modernas aeronaves llevan dos altímetros: el altímetro de presión (que es el convencional) y el radioaltímetro; este último da altitudes reales.

LOS MAPAS DE ALTOS NIVELES

Supongamos un radiosonda que en el momento de ser lanzado denuncia una presión de 1.000 milibares en el suelo. A medida que sube va detectanto presiones más bajas. Llegará un momento en que alcance una altitud en la que la presión sea de 850 milibares; más tarde llegará a los 700 milibares; después alcanzará 500 milibares; más tarde aún llegará a 400, 300, 250, 200, 100 milibares...

Estas presiones que se han citado no lo han sido a capricho; son las que tienen más interés para el estudio de la atmósfera. Para cada una de ellas se difunde a todo el mundo la altitud a que se encuentra en cada lugar de sondeo, de manera que en los centros meteorológicos más importantes se sabe, dos veces al día, a qué altura sobre el nivel del mar se encuentra cada una



de esas «presiones tipo» y cuáles son en ellas la temperatura, la humedad y el viento.

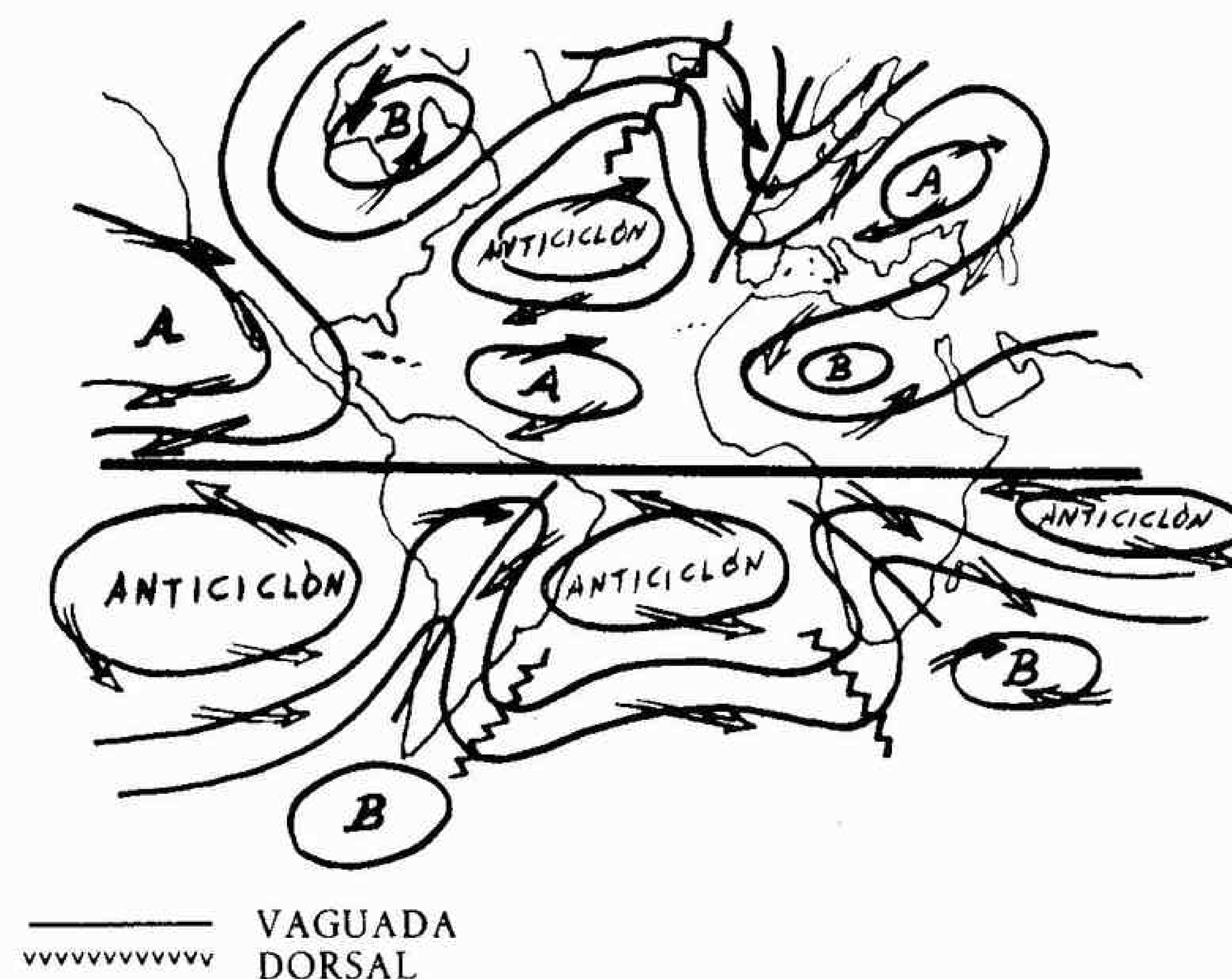
Si sobre un mapa y en cada punto de la Tierra donde se lanzan radiosondas se pone el número de metros a que se encuentran los 500 milibares (por ejemplo) y la temperatura, humedad y viento que reinan a esa altitud, se nota en seguida que dicha presión no está en todas partes a la misma altura: en unos sitios está más abajo y en otros más arriba. La superficie que contiene a todos los puntos de la atmósfera en los que la presión es de 500 milibares, envuelve a la Tierra, estando en algunos lugares más cerca de ella y en otros más alta. Su altitud media es de unos 5.500 metros. Por eso, vulgarmente, el mapa de los 500 milibares se le suele llamar el de los 5.500 metros de altitud, aunque añadiendo siempre lo de *aproximadamente*. El modo correcto es decir que se trata del mapa de los 500 milibares. En

tales mapas aparecen líneas muy parecidas a las isobaras del mapa del tiempo corriente. Están trazadas uniendo puntos en los que la altitud sea la misma, resultando en seguida las regiones en que está alta y aquéllas en las que está baja.

MONTES Y VALLES DE LA ATMÓSFERA

¿Qué son esas líneas? Desde luego son isobaras, ya que todos sus puntos tienen la misma presión (500 mb en nuestro caso). Pero algo más, porque así como en el mapa de superficie cada isobara tiene un valor distinto que las demás (996, 1.000, 1.004, mb, etc.), aquí todas son de 500 milibares. ¿De qué se trata entonces? Ya va dicho que se trazan uniendo puntos que aparezcan en el mapa con la misma altitud. Cada línea representa, por tanto, un número de metros. Por otra parte, todos ustedes han visto un mapa orográfico corriente. En él las montañas y los valles pueden representarse por diversos tonos de color, tanto más acusado cuanta mayor sea la altura. Pero también puede representarse (y así se hace en los mapas topográficos detallados) mediante «curvas de nivel», cada una de las cuales lleva impreso el número de metros de altitud o «cota» a la que corresponde. De manera que todas esas líneas están sobre la superficie de la Tierra, *pero a distintas alturas unas de otras*, ya que la Tierra tiene montañas y tiene valles.





De igual modo las líneas que aparecen en un mapa de 500 milibares, están todas sobre la superficie de los 500 milibares, *pero tienen distintas altitudes*. Porque también esa superficie presenta alturas y hondonadas que son los montes y valles de la atmósfera. Son, pues, también *líneas de nivel*. Técnicamente se las llama «isohipsas», o sea líneas de la misma altitud. Son, en cuanto al viento, igual que las líneas isobaras del mapa de superficie: son los *caminos del aire* en las alturas, y cuanto más juntas estén más fuerte sopla el viento. Si una línea de este mapa lleva la inscripción 5.400, significa que en todos los lugares por los que pasa esa línea los 500 milibares de presión están a 5.400 metros sobre el nivel del mar. Otra línea rotulada con 5.340 pasa por lugares en los que dichos 500 milibares están a 5.340 metros de altitud, y así sucesivamente. Se ve en seguida, por este procedimiento, dónde están los 500 milibares más elevados y dónde más bajos, es decir, se ve dónde la *superficie de 500 milibares* está hundida, presentando un valle o un embudo, y dónde está elevada, presentando una cresta o montaña. Estas líneas suelen trazarse de 60 en 60 metros.

El conjunto de isohipsas es, por tanto, una *representación topográfica* de la superficie de 500 milibares que, técnicamente, se llama «topografía absoluta de 500 milibares». Donde esta superficie aparece hundida o baja, se pone una B, representando una zona de borrasca en niveles altos. Si no es borrasca cerrada, sino que las isohipsas tienen forma de V, se la señala con una *b* o con una línea que pasa por los vértices de la V («línea de vaguada») y se trata de una *vaguada* o *surco* en altos niveles. Las áreas que aparecen altas son los anticiclones a ese nivel y se les pone una A. Aquéllas altas que no son áreas cerradas, sino como crestas en forma de U invertida son las *dorsales* o *lomas* de altura y se marcan con una *a* o mediante una línea quebrada a lo largo del eje de la dorsal.

NO SIEMPRE ESTÁN DE ACUERDO

El que la superficie de 500 milibares aparezca elevada en una región puede deberse a dos causas:

— A que haya un anticiclón en el suelo, lo que significa presión alta en tierra y necesidad de subir mucho en el seno del aire para que la presión llegue a bajar hasta los 500 milibares (y tanto más cuanto más caliente y húmedo esté el aire).

— O a que, no habiendo anticiclón en tierra, sino incluso borrasca, el aire esté muy caliente y muy húmedo, lo que significará aire muy poco denso, muy poco pesado, siendo necesaria una capa aérea de mucho espesor para lograr que baje la presión hasta los 500 milibares.

Recíprocamente, la topografía de 500 milibares aparecerá hundida por una de dos razones:

— O porque haya en el suelo una borrasca o área de baja presión, con lo que no es necesario subir mucho para alcanzar los 500 milibares (y tanto menos cuanto más frío y seco esté el aire).

— O porque, no habiendo borrasca en el suelo, sino incluso anticiclón, el aire esté tan frío y tan seco que sea muy denso, muy pesado y baste una capa estrecha de aire para que la presión baje mucho.

Resulta de lo dicho que no siempre están de acuerdo las borrascas y anticiclones en los distintos niveles de la atmósfera. Puede haber borrasca abajo y arriba, o borrasca abajo y anticiclón arriba, o anticiclón en el suelo y en altura, y anticiclón junto a la tierra y borrasca en altos niveles.

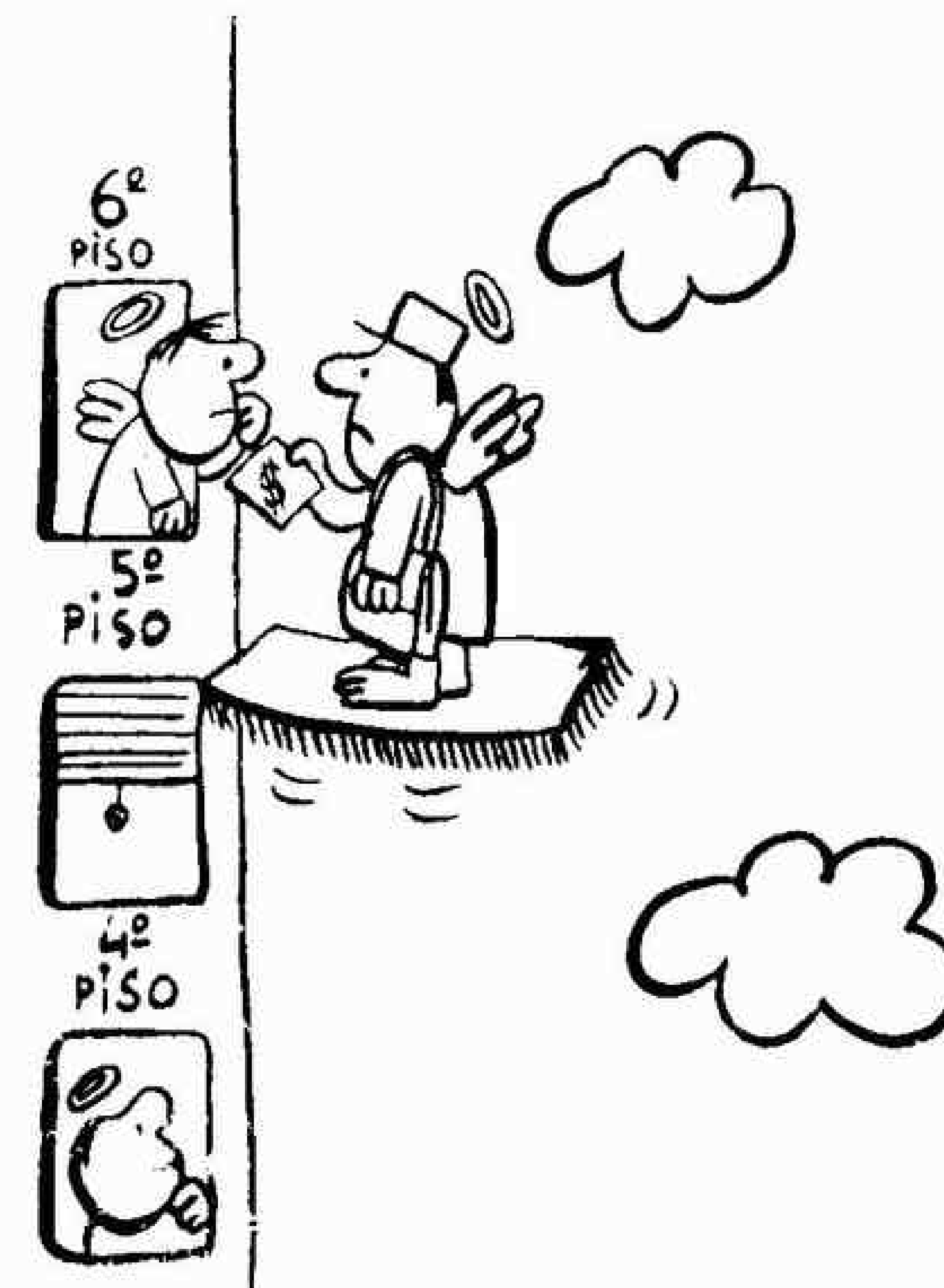
LOS PISOS DE LA ATMÓSFERA

Los mapas de altos niveles son, por lo que va dicho, representaciones topográficas de distintos *pisos de presión* en la atmósfera, distintas *plantas* en la estructura del gran edificio atmosférico.

Normalmente, los niveles o pisos representados son:

— El de 850 milibares, cuya altura media es de unos 1.500 metros.

— El de 700 milibares, a 3.000 metros, aproximadamente, de altitud.



— El de 500 milibares, con unos 5.500 metros como ya saben.
— El de 300 milibares, con altitud aproximada de unos 9.000 metros.
— El de 250 milibares, con alrededor de 11.000 metros de altitud.
— El de 200 milibares, a unos 13.000 metros; y
— a veces el de 100 milibares, que tiene una altitud de unos 16.000 metros.

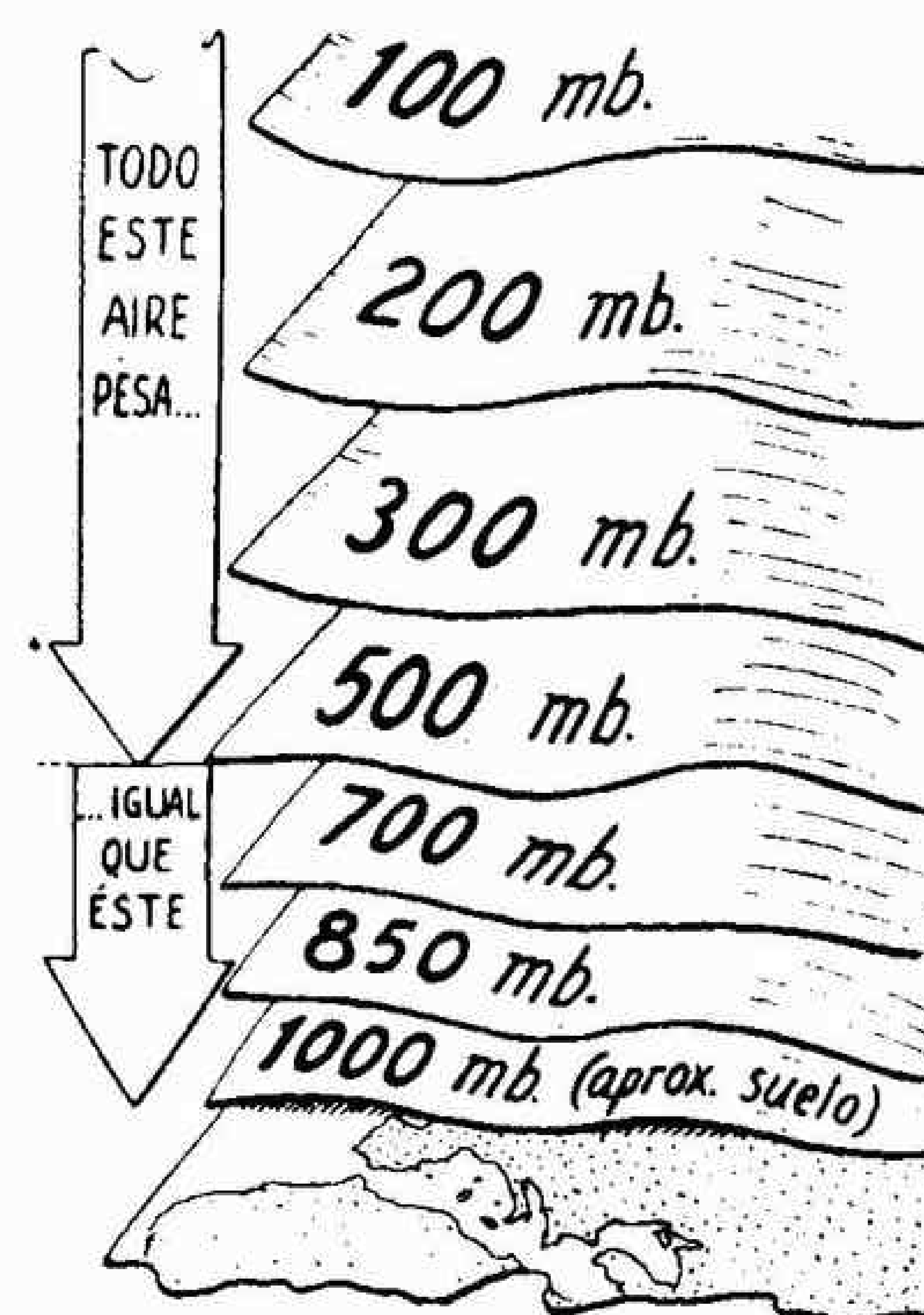
Como ven, se hacen seis o siete cortes a la atmósfera y dos veces al día. Seis o siete «topografías absolutas» de distintos niveles del aire. Todas son necesarias para un buen diagnóstico de nuestra *paciente* la atmósfera, condición previa indispensable para que se pueda acometer la siempre incierta tarea del pronóstico.

UNA PRESIÓN MUY ESPECIAL

Cada uno de esos mapas de altura tiene una importancia específica. En cada uno de ellos se puede estudiar mejor que en los demás un aspecto determinado de la situación atmosférica. Pero al de los 500 milibares (5.500 metros aproximadamente) le suele prestar una atención especial el predictor del tiempo. Es que este nivel es muy interesante. Pues aparte de una serie de consideraciones teóricas que no son del caso, *la superficie isobárica de 500 milibares divide a la atmósfera en dos partes, una por encima y otra por debajo, que aproximadamente pesan lo mismo:* la masa total de la atmósfera queda partida aproximadamente en dos mitades por la superficie de 500 milibares.

Por tal motivo, *la topografía absoluta de 500 milibares da una idea muy buena de las condiciones medias* —flujo medio— *de la atmósfera.*

En esta clase de mapas las líneas isohipsas son casi exactamente los *caminos del aire* de que ya hemos hablado en los mapas de superficie, donde las líneas isobaras también lo eran, pero sólo *aproximadamente*. Con lo que, si miran las isohipsas, ven de paso la dirección casi exacta del viento al nivel de 500 milibares. Y lo mismo ocurre para los mapas topográficos de los otros niveles de la atmósfera. Sólo en las regiones de mu-



cha curvatura de las isohipsas no se adapta bien el viento a la dirección de las mismas, por causa de la fuerza centrífuga.

Cuando estas líneas isohipsas están muy juntas, la velocidad del viento es muy grande. Hay muchas ocasiones en que se alcanzan y superan los 100 kilómetros por hora: se trata de la famosa «corriente en chorro» o «jet stream». Esta corriente, o fortísimo río aéreo, se pone de manifiesto especialmente bien en los niveles de 300, 250 y 200 milibares, ya que a esas altitudes es por donde suele andar el *eje* o *corazón* de tan importante fenómeno atmosférico. Pero también se refleja perfectamente en el mapa de los 500 milibares.

Sin embargo, esto de la «corriente en chorro» es otra historia que merece contarse aparte.

CAPÍTULO V

SUCESOS GRANDES DE APARIENCIAS CHICAS

Hemos visto, en el capítulo 3, un esquema de cómo es, a grandes rasgos, la circulación general atmosférica. Esquemas y explicaciones parecidos pueden encontrarse en cualquier libro de meteorología de antes de la Segunda Guerra Mundial. De entonces acá se ha completado mucho el conocimiento de la atmósfera superior. Fenómenos insospechados se han descubierto e investigado; estas investigaciones han hecho sospechar la existencia de otros detalles que ha habido que comprobar experimentalmente. El vasto océano gaseoso que nos envuelve ha sido surcado por cohetes supersónicos meteorológicos, por radiosondas especiales, por aviadores que han hecho del jugarse la vida una forma deportiva de cumplir el deber. Y ello ha llevado a un más exacto y profundo conocimiento de lo que ocurre allá arriba. La circulación de vientos en las capas bajas del aire era ya bien conocida. Pero en las capas altas eran, casi todo, suposiciones; que se ha visto después cuán lejos estaban, en algunos aspectos, de la realidad.

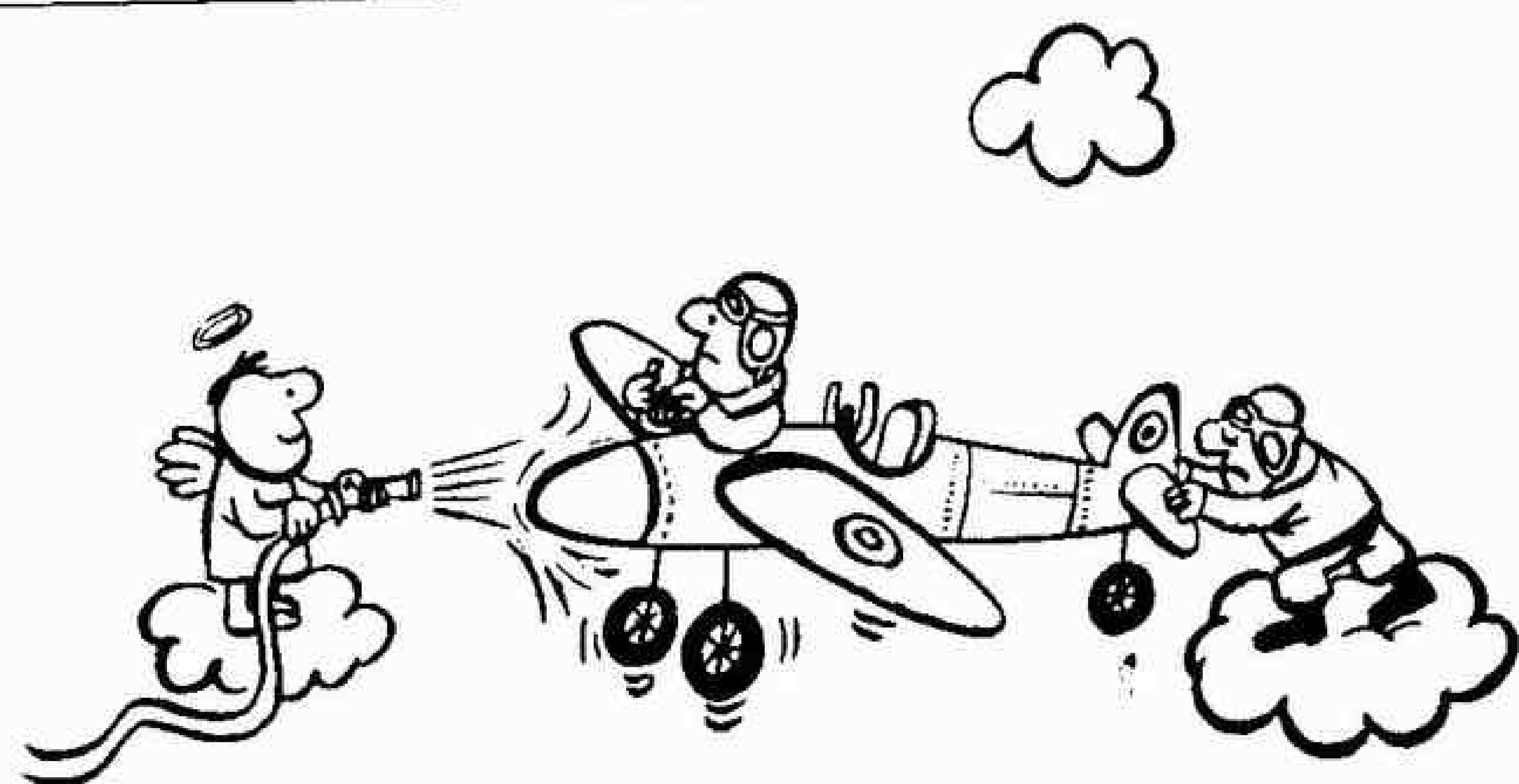
De muchos detalles de la predicción del tiempo, sólo se conocían sus resultados; había, es verdad, predictores certeros capaces de prever el advenimiento rápido de perturbaciones atmosféricas como la ahora llamada «gota fría»; pero sin poder explicar su mecanismo ni el porqué sucedía así. Sabían que, con determinadas situaciones atmosféricas, ocurrían *a veces* cambios repentinos de tiempo; pero nada más. Hoy se ha avanzado mucho en este terreno. Y parte importantísima en estos avances la

tiene el descubrimiento de la ya citada «corriente en chorro». Pero, para ir con orden, repasemos la historia de un pequeño contratiempo aeronáutico de la última conflagración mundial, que viene a comprobar una vez más la verdad encerrada en una frase de Pemán en su famosa obra *El divino impaciente*: «Es buen estilo... éste de sacar las grandes cosas de apariencias chicas.»

BOMBARDEROS QUE NO AVANZABAN

Vamos a remontarnos a la Segunda Guerra Mundial, cuando las superfortalezas volantes americanas iban a bombardear el Japón, viajando hacia el oeste, a través del Pacífico, a unos 11.000 metros de altitud. En varias ocasiones comprobaron los pilotos, con asombro, que no avanzaban un palmo aun con los motores puestos a todo gas. Se trataba de unos fortísimos vientos contrarios (es decir, que soplaban desde el oeste) que, con velocidad comparable a la de los propios aviones, impedían su avance.

El fenómeno era bastante sorprendente y, desde luego, imprevisto. Parecía como si en la atmósfera superior existiesen *ríos aéreos*, que fluyeran de poniente con enorme velocidad, a través de regiones relativamente encalmadas y sin que se observase nada a simple vista, pues el cielo estaba casi totalmente despejado. Era algo que recordaba a la corriente marina del Atlántico conocida como «corriente del Golfo» o «Gulf stream», pero en el seno del aire. Fue bautizada con el nombre, entonces inédito, de «Jet stream»; que más tarde se tradujo al castellano como «corriente en chorro».







Para entonces los japoneses ya debían tener conocimiento de su existencia. Como lo prueba el hecho de que lanzaban desde el Japón grandes globos con bombas incendiarias, que llevaban un dispositivo barométrico para que navegasen entre 9.000 y 11.000 metros y, arrastrados por esa corriente, llegasen a Norteamérica y provocasen incendios al caer. La operación no tuvo demasiado éxito práctico; pero es un indicio claro de que en el Japón ya se conocía —o al menos se sospechaba muy fundadamente— que tal río aéreo de poniente existía en la alta troposfera.

Terminada la guerra, se acometió una investigación en toda regla con un lujo de medios típicamente americano: el «Jet Stream Project», que condujo a la confirmación de lo que observaron desde las superfortalezas y al estudio completo y exhaustivo del fenómeno y todas sus consecuencias.

La «corriente en chorro», o más brevemente *el chorro*, hoy de uso rutinario en la técnica meteorológica diaria tiene, en la historia de la meteorología, un puesto comparable al que ha ocupado muchos años en exclusiva el «frente polar» desde que

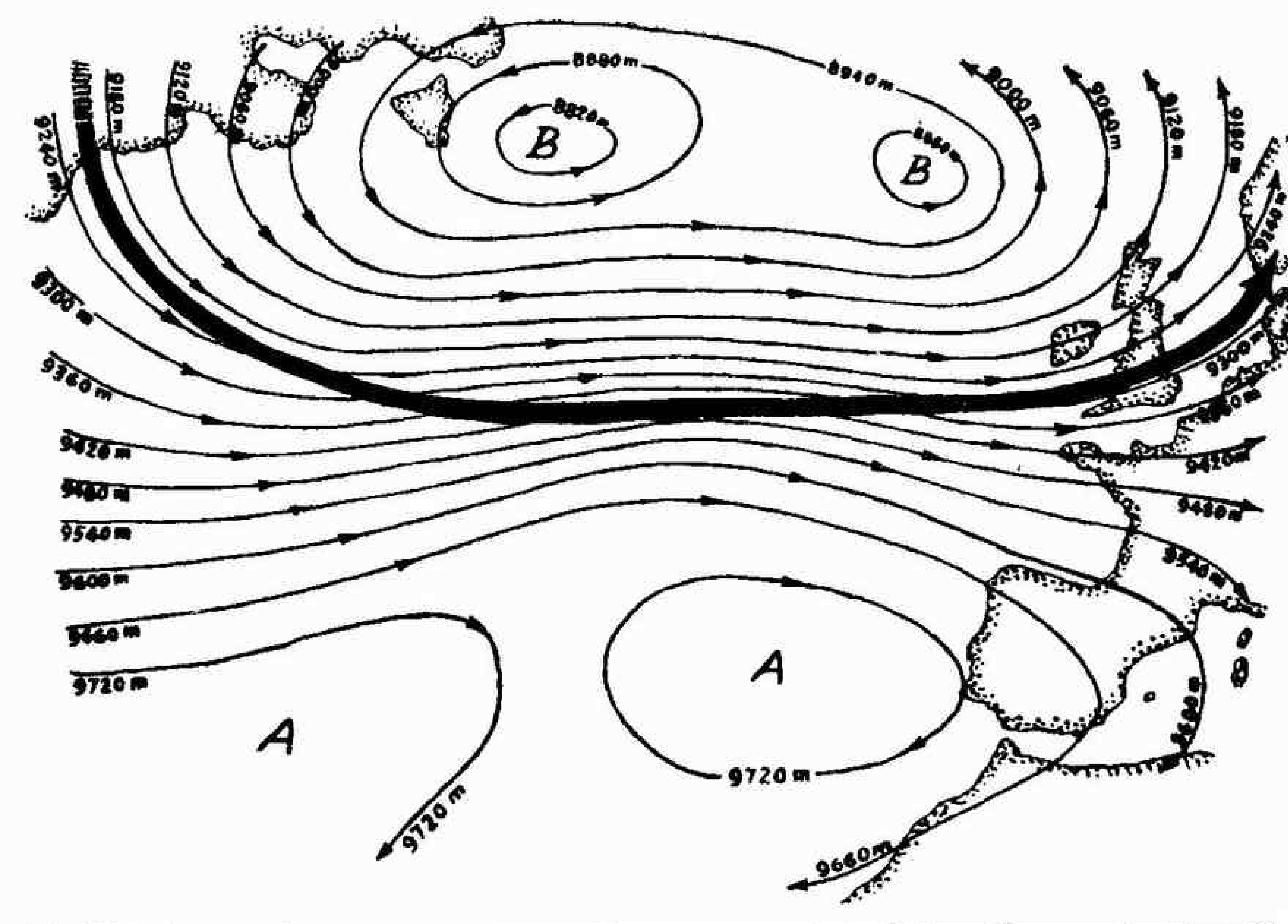
fue descubierto por Bjerknes y sus colaboradores de la, ya citada en otra ocasión, «escuela noruega».

UN NEUMÁTICO ALREDEDOR DE LA TIERRA

Quedamos en que *el chorro* es, ni más ni menos, un velocísimo río de viento que circunda la Tierra a una altitud de unos 11.000 metros. Hay dos *chorros* en cada hemisferio. Uno, el más importante, llamado el *chorro polar* y otro conocido como *chorro subtropical*, como veremos en el próximo capítulo. Su estructura es tubular, como un descomunal neumático.

En su eje, o *corazón del chorro*, se encuentran las máximas velocidades de viento, que van decreciendo rápidamente hacia la periferia del tubo.

En el mapa de 300 milibares (unos 9.000 metros de altitud), se le ve muy bien, aunque de hecho se refleja perfectamente hasta en el de los 5.500 metros aproximados (500 milibares). Se





localiza en seguida en las regiones del mapa en las que las isohipsas están muy juntas.

En el hemisferio norte, la región a la izquierda del chorro se llama su *lado frío;* la región a la derecha, su *lado cálido*. En el hemisferio sur, el lado frío del chorro es el derecho y el cálido el izquierdo. Todo lo cual presenta un sospechoso parecido con lo que ustedes ya conocen del frente polar.

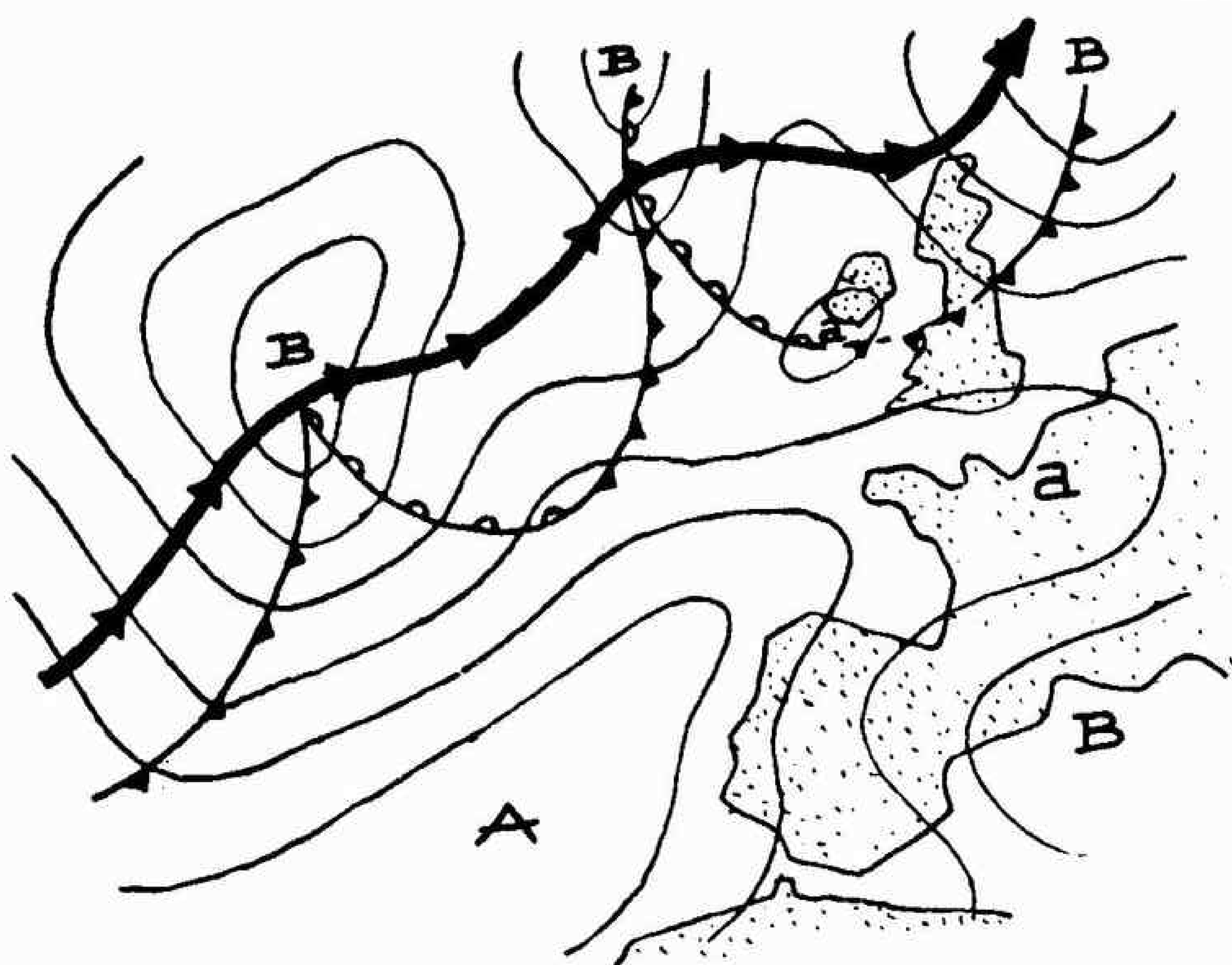
En el lado frío del chorro, la atmósfera está hundida y son numerosas las borrascas; estando levantada, como una gran cresta, en su lado caliente, donde dominan los anticiclones. Entre la cresta cálida y la hondonada fría hay una cuesta muy empinada, *una ladera muy abrupta, a lo largo de la cual corre el chorro*.

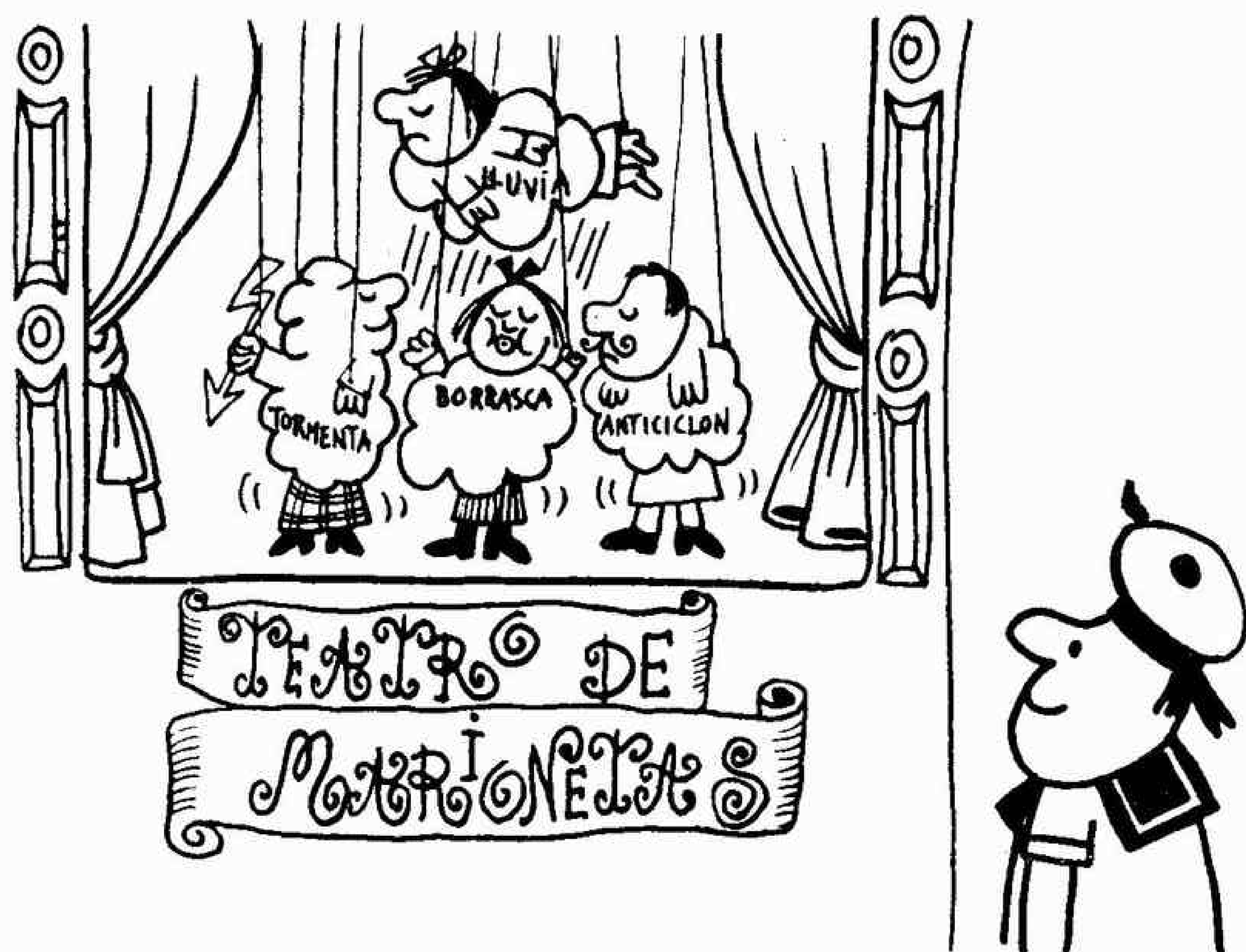
EL JUEGO DE LAS MARIONETAS

Vean ustedes otro mapa, el de la figura siguiente. En él se han dibujado esquemáticamente las posiciones del frente polar sobre el suelo y de la corriente en chorro a gran altura.

Sigue siendo muy sospechosa la coincidencia entre ambos fenómenos. Da la sensación de que los frentes de abajo son un reflejo del chorro de encima. Y casi es así; al menos en una primera aproximación suficiente para nosotros. Siendo natural que así sea, ya que tanto el frente polar como la corriente en chorro hacen el papel de frontera entre el aire polar y el tropical.

Podemos decir que los frentes son un reflejo del chorro y que éste, en su lado frío, es un gran productor de borrascas; las cuales se reflejan en tierra y provocan las ondulaciones de frente





polar que vimos en otro capítulo. Y fíjense en una cosa importante de la figura: la corriente en chorro sigue la misma dirección que los frentes cálido y frío, sin cortarlos, pero atraviesa limpiamente el frente ocluido, cortándole casi en el mismo pico del sector cálido.

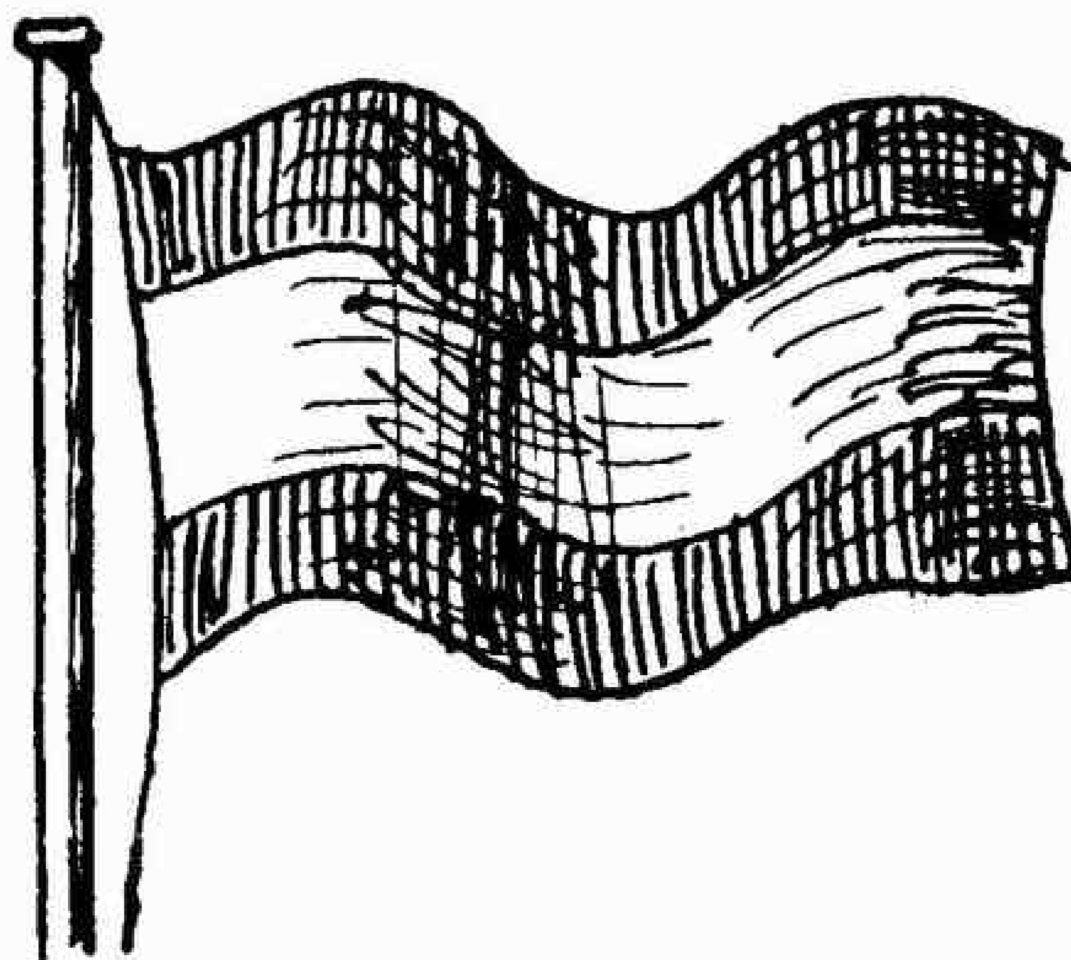
Todo pasa, pues, como si el chorro fuese un marionetista excepcional que desde los altos niveles de la troposfera moviese, con hilos invisibles, unas marionetas juguetonas sobre la superficie de la Tierra. Unas marionetas capaces de traer la sequía o la lluvia, la nieve o el calor, los vientos huracanados o los días apacibles. Todas obedecen, ciegas, a su acción rectora. Se van al norte o al sur, se hacen fuertes o se debilitan, se mueven más deprisa o más despacio obedientes al tirón del hilo invisible. Estas marionetas son los frentes fríos y cálidos, los frentes ocluidos, las borrascas y los anticiclones, las vaguadas barométricas y las dorsales.

UNA BANDERA AL VIENTO

Todos conocen el curioso fenómeno del *ondear* de las banderas. Aunque el viento sea totalmente uniforme, la bandera no queda inmóvil y desplegada, sino que *ondea*. Ello es debido a que ambas caras de la bandera *frenan* al viento, haciendo que disminuya su velocidad en la delgada lámina de aire que está en contacto con la tela por uno y otro lado. Este frenado produce unos remolinos, que son de giros contrarios a un lado y a otro de la bandera y que se alternan provocando ese curioso efecto del ondeo.

El fenómeno es el mismo que se produce en un canal de riego: el agua que corre por él, roza contra el suelo áspero y se retrasa con respecto a la de encima, que corre más veloz sin ese rozamiento. El agua de arriba, al ir más deprisa, se encuentra con que *le falta agua* debajo y tiende a llenar el vacío encurvando su trayectoria hacia el suelo; así nacen las ondas, o remolinos de eje horizontal. Estas pequeñas perturbaciones surgen siempre en cualquier fluido —líquido o gas— que sufra contrastes notables de velocidad entre regiones muy próximas. El remolino es la forma natural que tienen los fluidos para tratar de recuperar un estado de equilibrio alterado por cualquier causa.

Pensemos ahora en nuestro río aéreo, en la corriente en

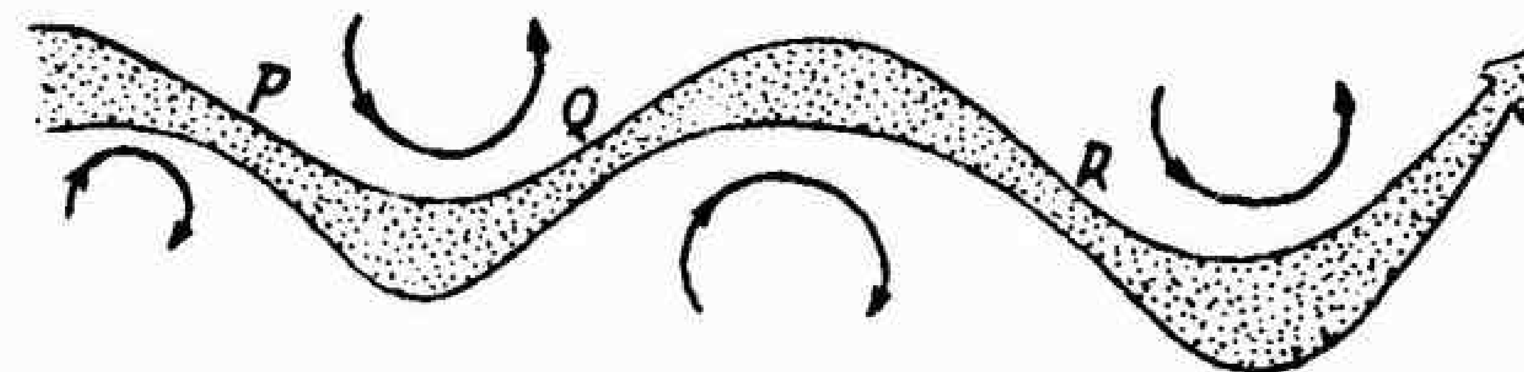




chorro. Es una perturbación, un trastorno, una «discontinuidad» de origen térmico y dinámico en el seno del aire que también *produce remolinos* alternados a un lado y a otro de su trayectoria. Pero el sentido de giro de estos remolinos es exactamente al revés de los que origina la bandera. La razón es sencilla: junto a la bandera el viento es frenado y su velocidad aumenta al alejarnos de la tela por cualquiera de sus lados; donde el aire se *queda retrasado* es junto a la bandera. En la corriente en chorro ocurre al contrario: la velocidad es máxima en su centro y disminuye rápidamente al alejarnos de él. Donde el aire se adelanta es en el eje del chorro. Pero el cambio más brusco de velocidad, con una disminución repentina, es de los bordes del chorro hacia fuera. Y es ahí, justamente en el borde, donde se deben formar los remolinos; que giran al revés que los producidos por la bandera porque en el caso del chorro es el aire de éste el que se adelanta.

Si se fijan en la figura cómo gira el aire en estos remolinos, se darán inmediata cuenta de que son *gérmenes de borrascas* en su lado frío (el lado izquierdo en el hemisferio norte y el derecho en el hemisferio sur). Y *gérmenes de anticiclones* en su lado

INICIACIÓN A LA METEOROLOGÍA

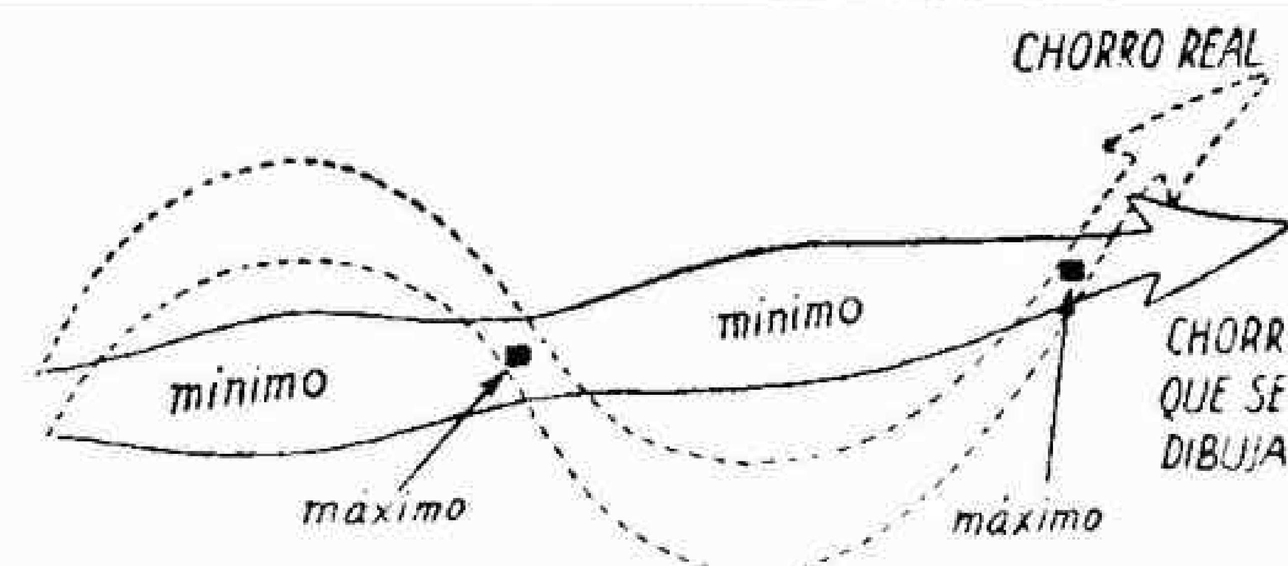


cálido (lado derecho en el hemisferio norte e izquierdo en el sur). No tienen más que recordar, para que no quepan dudas, que el *chorro corre siempre de oeste a este*, tanto en un hemisferio como en el otro. Y que el sentido de giro del viento, tanto para borrascas como para anticiclones es, en el hemisferio sur, contrario que en el hemisferio norte.

COMO LAS CUENTAS DE UN ROSARIO

La presencia de esos remolinos obliga al chorro a ondularse. En zonas como las señaladas en la figura con las letras P, Q, R, la corriente sufre los efectos de compresión simultánea de dos remolinos (uno por cada lado) que tratan de apretarse contra ella; lo que se traduce en un estrechamiento y en un aumento de velocidad; por el contrario, en las crestas y en las hondonadas de la ondulación el chorro se dilata y la velocidad del viento disminuye.

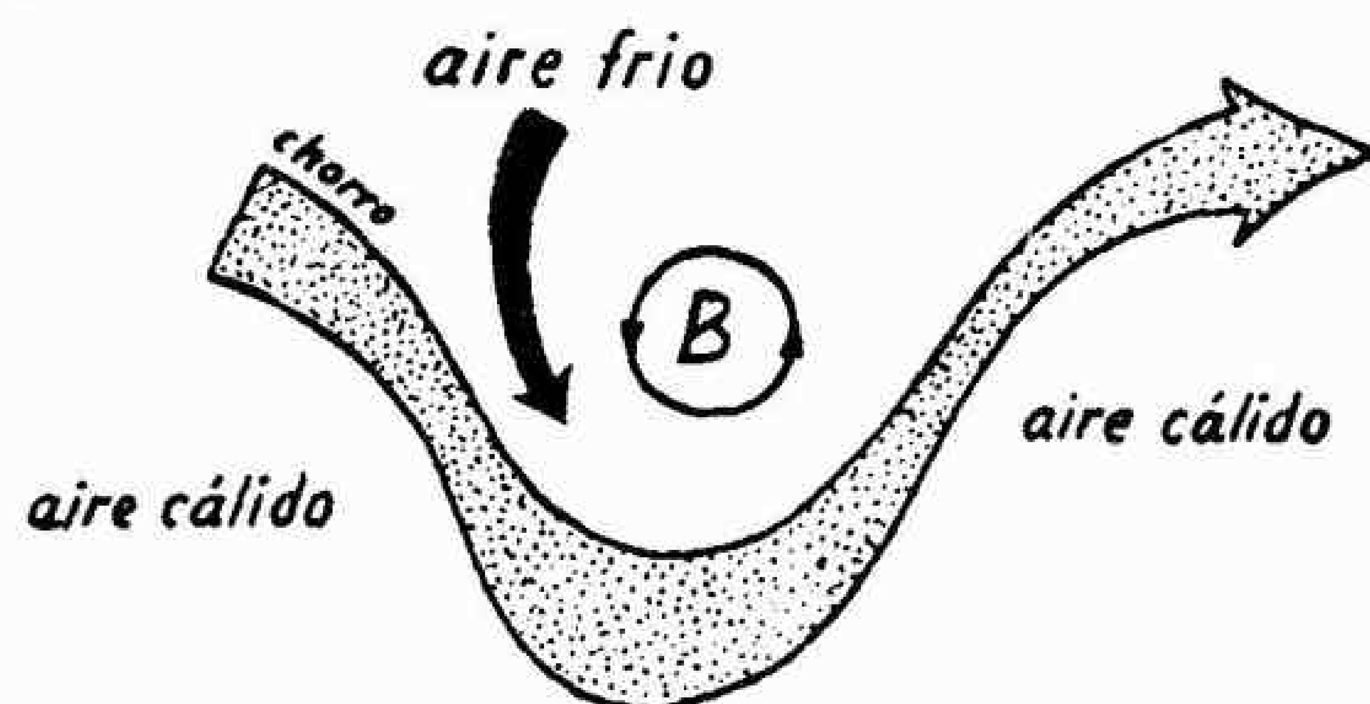
¿Cómo se traducirá todo esto en lo que, de verdad, se observa en el aire? El chorro se denuncia como una corriente relativamente estrecha de vientos muy fuertes; que en los mapas de niveles altos corre a lo largo de unas líneas isohipsas muy apretadas. Pero al analizarlo en los mapas, en seguida se echa

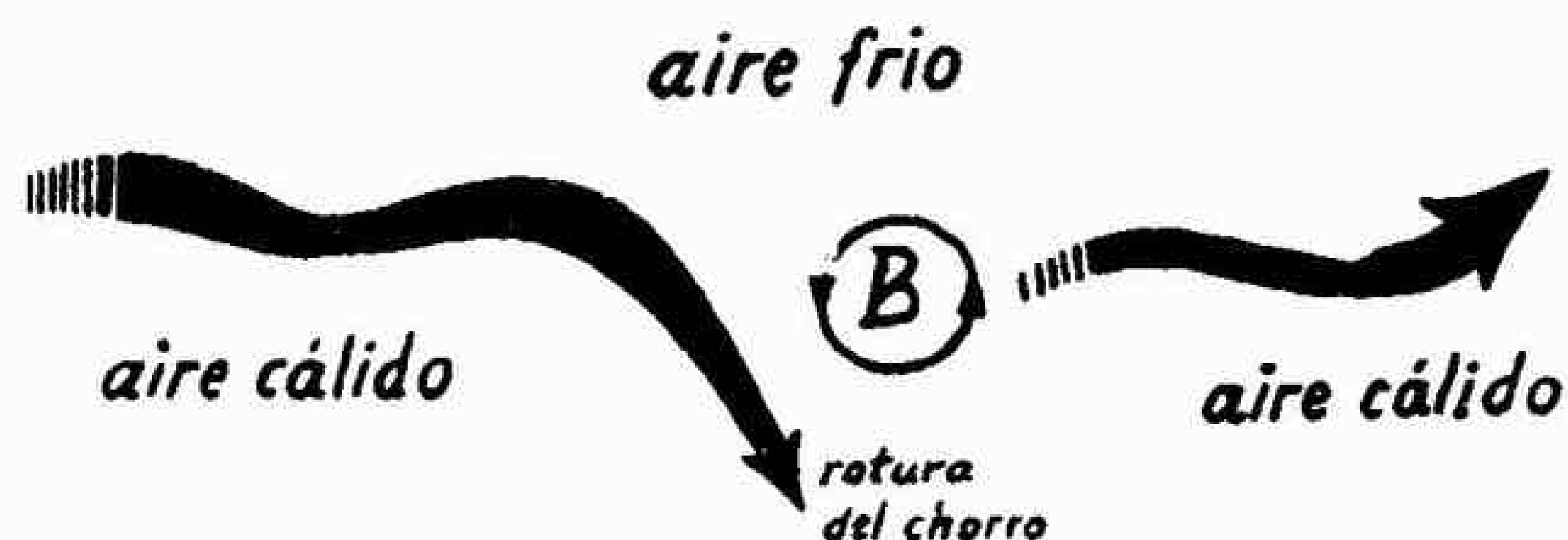


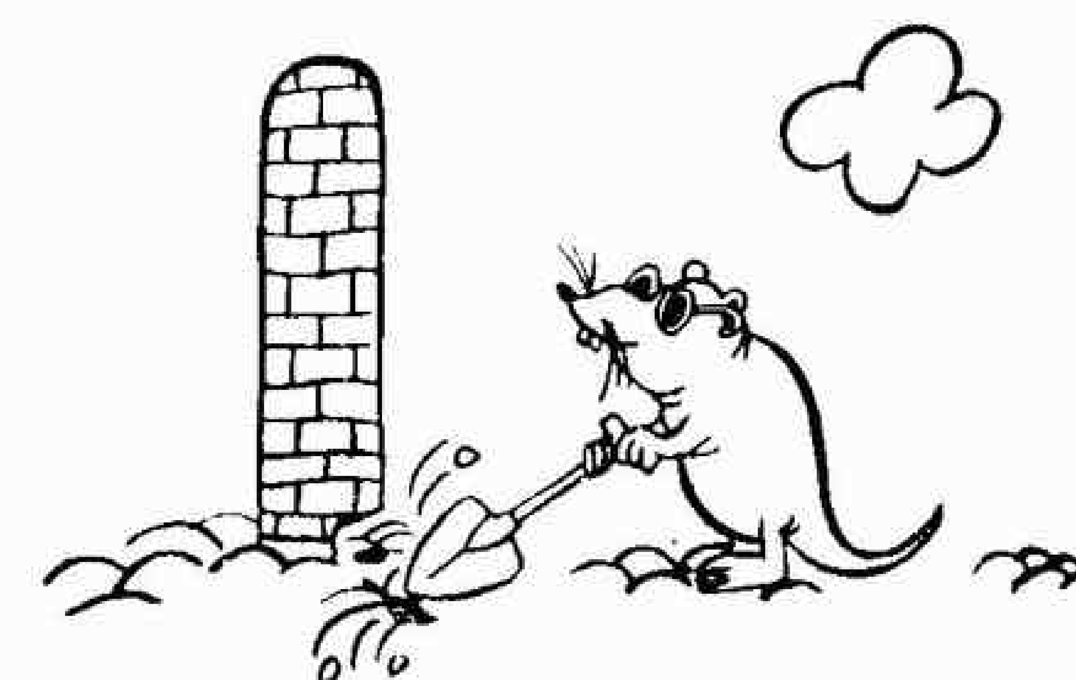
de ver que no es igualmente veloz a lo largo de todo su recorrido: presenta *máximos de viento* intercalados entre zonas de viento menos fuerte. Dichos máximos aparecen distribuidos *como las cuentas de un rosario* y corresponden a regiones como las P, Q, R..., de la figura.

UN REMOLINO TOPO

Normalmente, la corriente en chorro se encuentra en *equilibrio dinámico;* es decir, en un equilibrio en movimiento, no estático. Corre de oeste a este con ligeras ondulaciones, poco acusadas y perfectamente simétricas y regulares. Los remolinos, a un lado y a otro, siguen siendo *gérmenes* de borrascas y anticiclones, pero sin crecer, sin desarrollarse. Es necesario que alguno de ellos se fortalezca más que los demás para que el equilibrio se rompa. Ustedes recordarán qué era lo que necesitaba una borrasca para robustecerse: necesitaba alimento de aire frío. Si por cualquier motivo el aire polar empuja hacia el sur, des-







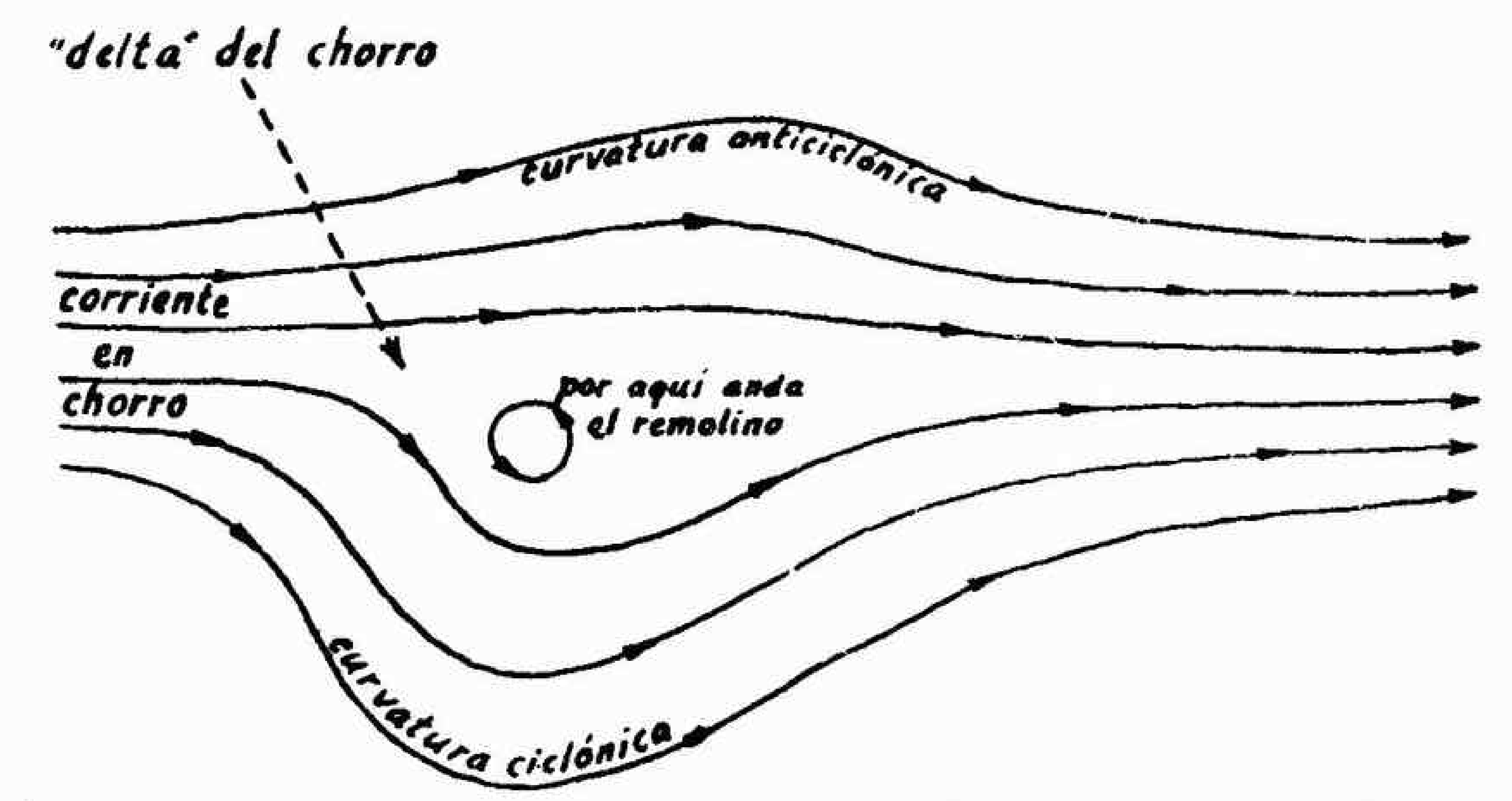
bordándose *en punta;* es decir, si una estrecha, pero penetrante lengua de aire frío se mueve hacia el ecuador, alcanzará a alguno, o algunos, de los remolinos del lado frío, robusteciéndole, dándole energía y convirtiéndole en una joven y potente borrasca. Ésta empuja con fuerza y obliga al chorro a ondularse más acusadamente, pudiendo llegar *a romperle.* Estas *roturas del chorro* dejan vía libre al aire polar que puede penetrar así hasta muy al sur (en el hemisferio norte) o hasta muy al norte (en el hemisferio sur). Gran número de los cambios de tiempo más rápidos y espectaculares en las regiones comprendidas entre los 30 y los 45 grados de latitud (España entre ellas) son debidos a estas roturas de la corriente en chorro.

El remolino, repentinamente enérgico, ha socavado como un topo ese cinturón fortísimo de vientos y se ha colado hacia los dominios del aire caliente.

¿Se pueden prever estas roturas? En muchos casos sí. Veamos.

UNA CUERDA DESTRENZADA

La rotura del chorro rara vez es tan rápida como para no observar ciertos síntomas previos en los mapas del tiempo de las capas altas de la atmósfera. Porque a medida que el remolino enérgico va socavando el chorro y desviándolo, éste tiende a rehacerse por detrás de él. Es como si un topo fuese haciendo su galería y ésta se fuese cerrando a sus espaldas dejándole encerrado. Entonces, sin que en general pueda verse el remolino



en los mapas, por su pequeñez inicial, las líneas isohipsas presentan un aspecto como el de esta página:

Es decir, su configuración *recuerda la de una cuerda destrenzada*. Es lo que, técnicamente, se conoce como «chorro en delta», porque recuerda la forma de la zona de delta que algunos ríos toman al desembocar en el mar, abriéndose en varios brazos.

Estas configuraciones *en delta* son como preludios de empeoramiento en las regiones a las que va a llegar la zona de bifurcación del chorro, en su parte inferior, es decir, en aquélla en que las isohipsas tienen curvatura ciclónica.

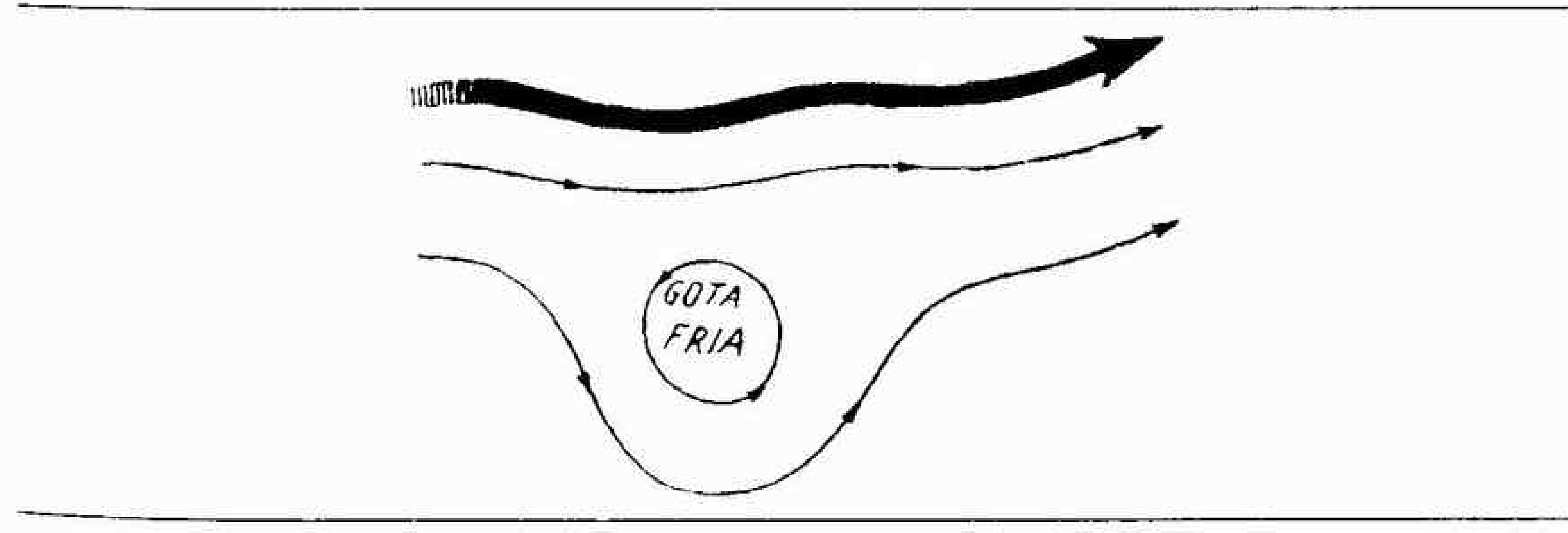
LA «GOTA» FRÍA

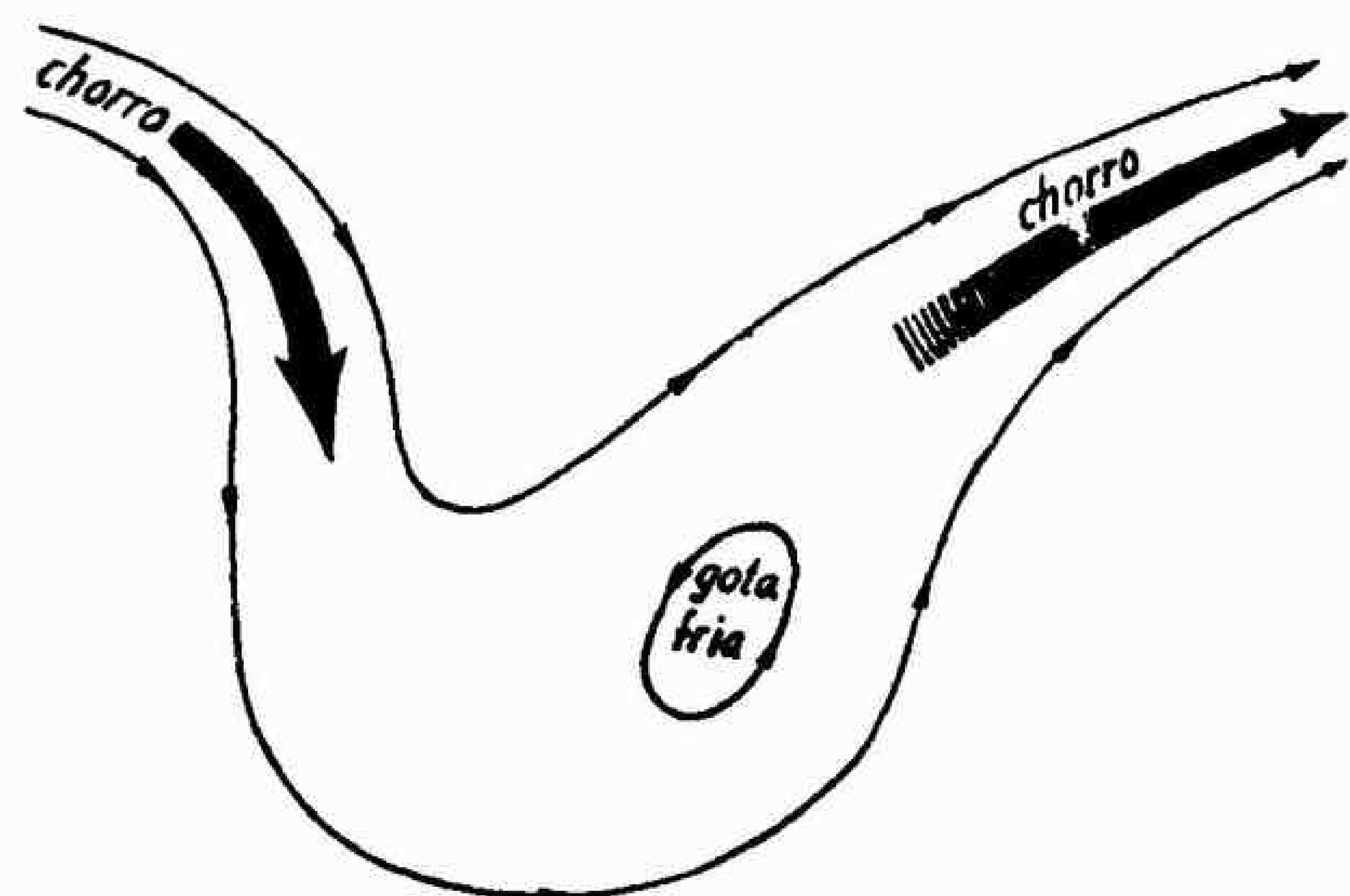
En ocasiones habrán observado empeoramientos casi repentinos del tiempo: un cielo entoldado y gris se presenta a las pocas horas de haber estado despejado; la temperatura baja notablemente, aun en pleno verano; las lluvias son copiosas y suelen presentarse en forma de aguaceros; si la época es de verano, parece haber llegado de repente el otoño; y si es invierno, caen chubascos de nieve intensos. En los mapas del tiempo no aparecen «frentes» fríos ni cálidos sobre la región afectada. Por la



radio o en la televisión oyen que se trata de «una gota de aire frío».

¿Qué es esto de la *gota fría*? Es una borrasca muy especial. No tiene frentes y no se ha formado por ondulación del frente polar. Es algo que no tenía explicación aceptable antes del descubrimiento de las corrientes en chorro. Ahora sí. Es ese *remolino topo* de que antes hablaba, convertido en pocas horas en una borrasca activísima. Taladró *el chorro*, volvió éste a rehacerse y la pequeña perturbación con aire frío, que se coló, queda solitaria, aislada, como una isla fría en un océano de aire templado o francamente cálido. Aunque su radio es de 200 a 600 kilómetros por lo general, su tamaño es pequeñísimo en comparación con el área ocupada por el aire tropical que la ro-





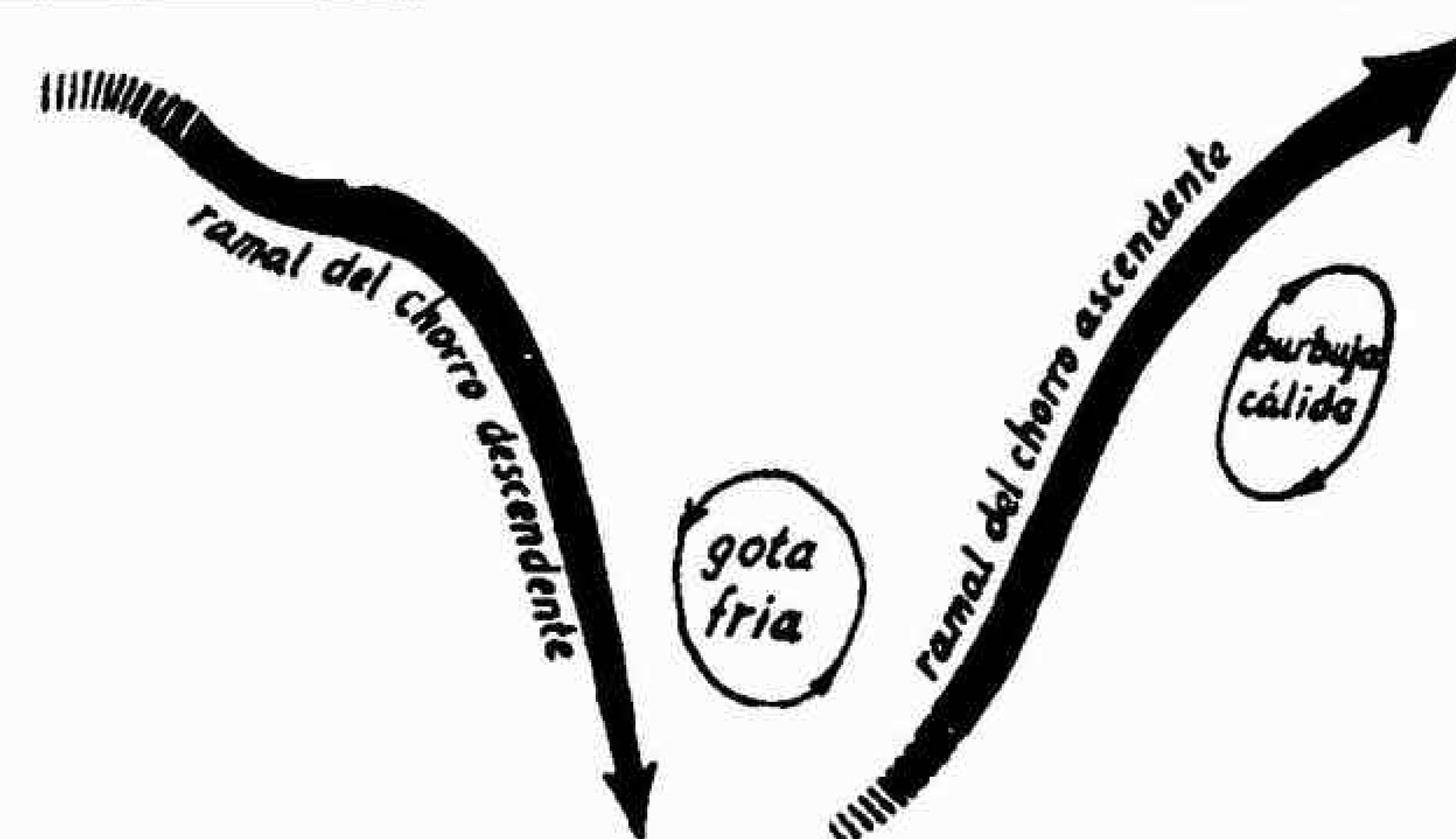
dea: es una *gota de aire frío* en medio del océano de aire más caliente. Traspasó las alambradas y se encuentra en tierra enemiga, rodeada de aire tropical. Su energía es tan grande y el aire frío tan pesado, que hay veces que, en pocas horas la borrasca fría de altos niveles tiene su reflejo en otra que aparece en el suelo. Ésta ocupa casi la misma posición, sobre el mapa, que la que hay en las capas de arriba; entre ambas, una enorme chimenea, casi completamente vertical, lanza hacia arriba el aire caliente de junto al suelo. A su alrededor gira el aire frío que desciende. Su movimiento es entonces —cuando ya se reflejó en el suelo— lentísimo en cuanto a traslación. Las lluvias o nieves se producen en su *zona de ataque*, es decir, en el borde delantero de la «gota». Mientras los vientos que giran alrededor de ésta sean desiguales, siendo más fuertes en uno de los lados, la «gota» seguirá moviéndose en la dirección que marquen esos vientos más intensos; con su parte de *proa*, levantará el aire caliente formando nubes de gran desarrollo vertical y provocando aguaceros o nevadas, según la época. Hay ocasiones en que sólo se observa su presencia en los mapas de niveles altos, siendo entonces menor su actividad pero habiendo mayor facilidad para las *sorpresas*. En cualquier caso, cuando los vientos que la rodean llegan a ser sensiblemente de la misma velocidad, la perturbación toma forma completamente circular y entra en su fase final. Aún puede *reactivarse* si, antes de morir, vuelve a romperse el chorro por un lugar tal que reciba la «gota» una nueva inyección de aire frío que la reanime comunicándole más energía.

Si esto no ocurre, la gota fría vuelve a convertirse en un simple remolino, sólo que muy grande en comparación con aquel minúsculo del que se originó, que *quema* sus últimas energías en una *traca final* de tormentas; a veces, son éstas muy fuertes: es el último *coletazo*. Rápidamente y ayudado por la acción mezcladora de la tormenta, su aire frío acaba de diluirse en el más caliente que la rodea; desaparecen los contrastes; la «gota fría» ha muerto desapareciendo del mapa.

LA «BURBUJA» CALIENTE

¿Puede ocurrir lo contrario? Es decir: ¿Puede el aire caliente romper la barrera del *chorro* e invadir los dominios del aire frío?

A veces sí; pero es muy difícil que lo logre con sólo su empuje. Más fácil es que ocurra «por reacción». Todos ustedes han visto *trabajar* la masa para hacer pan o repostería: cuando el puño aprieta por un lado y hunde la masa, ésta sube por el lado inmediato. Si tratan de estrangular un globo de goma hinchado, inmediatamente aparecen deformaciones o bultos por los lados. Es el principio, eterno, de la «acción y reacción». Cuando una penetración fría desvía el chorro, el remolino cálido del lado derecho encuentra condiciones propicias para trasladarse en sentido contrario. En el hemisferio norte, las penetraciones frías



hacia el sur provocan invasiones cálidas hacia el norte. Lo mismo, cambiando las palabras *norte* por *sur* y viceversa, sucede en el hemisferio meridional. Y puede ocurrir que suba tanto hacia el polo el aire cálido, que el chorro se rehaga por detrás de él y lo corte, quedando aislada una gran «burbuja cálida» dentro de los dominios del aire frío. Tal burbuja se convierte en un anticiclón (recuerden el sentido anticiclónico del giro del viento en el remolino *germen*) por cuya parte central desciende el aire caliente, que produce cielos despejados (las nubes aparecen sólo cuando el aire *sube*) y ambiente templado en regiones habitualmente frías. En sus bordes, donde el aire cálido está en contacto con el frío que le rodea, deslizándose como en rampa sobre él, aparece un cinturón o parte de él con lloviznas y lluvias débiles, *que no son provocadas por ningún frente propiamente dicho*.

En España ocurren estas invasiones cálidas cuando una «gota fría» se coloca al oeste de Portugal y aparece un ramal de la corriente en chorro como fuerte viento del sur, en el país vecino, soplando en las capas altas de la atmósfera. La «burbuja cálida» no se forma en España, donde sólo notamos una especie de ola de calor repentina, con nubes altas *(cirros)*. Produce también notables incertidumbres en los predictores del tiempo profesionales, por la proximidad de la borrasca que, sin embargo, suele tardar días en entrar. Esto no ocurre hasta que la «burbuja» no se estaciona sobre Alemania, o en los Países Escandinavos, en forma de anticiclón caliente.

EL GRAN HECHICERO

De todo lo dicho en este capítulo, resulta que *la corriente en chorro es la verdadera espina dorsal de la circulación general atmosférica*. Es el *gran hechicero*, el fabricante de las ondas del frente polar que, a su vez, producen las borrascas. Es el que, cuando cambia su orientación, o cuando se rompe, provoca en el tiempo atmosférico radicales cambios. Con él vienen y van las «gotas frías» y las «burbujas cálidas». Nos trae nevadas o nos asa vivos. Es el *amo del tiempo*, aunque inconsciente, en las latitudes templadas. Aunque también es súbdito: según que el Sol presente mayor o menor actividad, enviando más o menos calor a la Tierra, la posición y la fortaleza del chorro son distintas. Él obedece, pues, al astro-rey. Y el conjunto, con el Universo

entero, obedece las leyes inmutables impuestas por Dios, su Creador.

¡Qué lejos estarían de pensar la revolución que produciría la corriente en chorro en la ciencia del tiempo, sus descubridores involuntarios: aquellos pilotos de los bombarderos americanos que, con los motores a fondo, no podían avanzar!

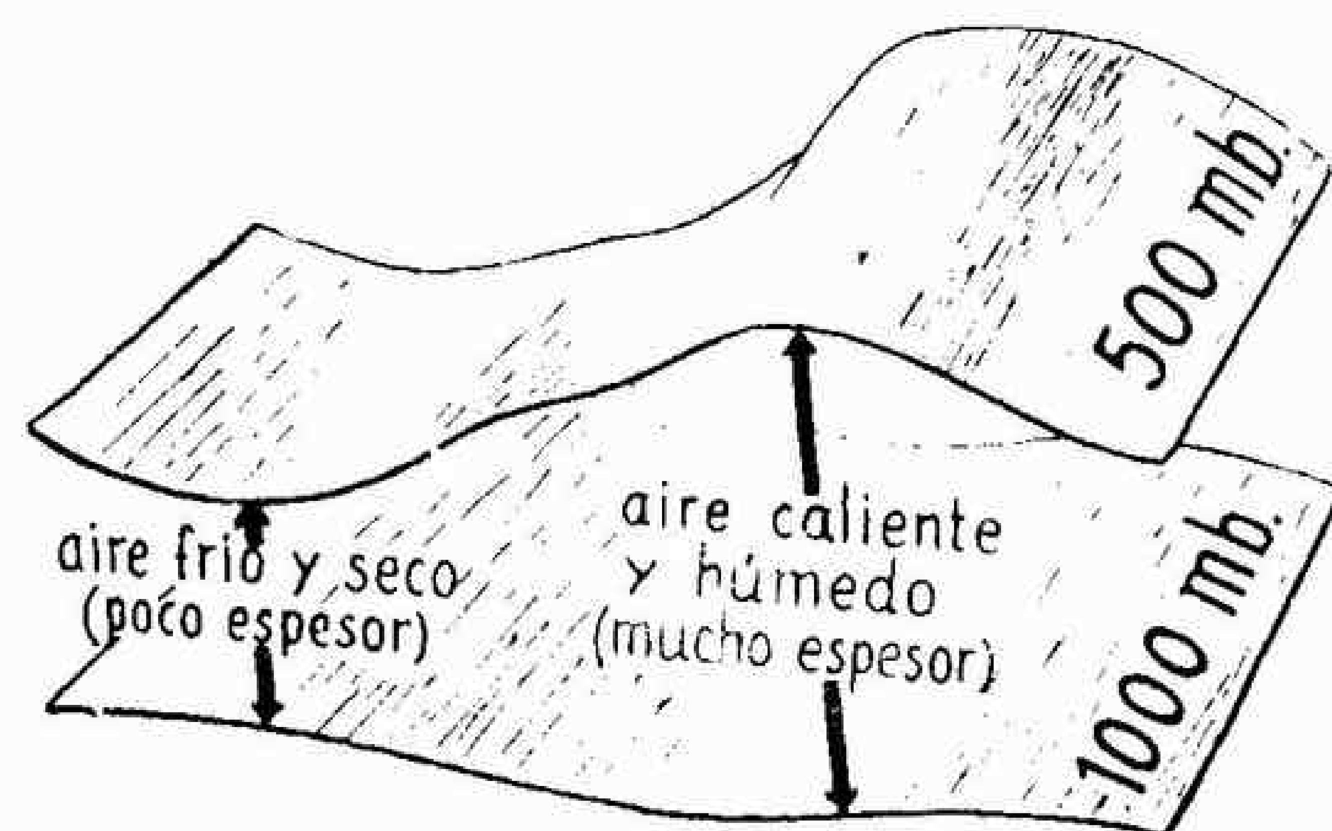
CAPÍTULO VI

UN «SANDWICH» DE AIRE

Ya hemos visto, en el capítulo 4, cómo cuanto más caliente y húmedo es el aire, menos denso es, y que, al contrario, es más denso cuanto más frío y seco esté. Un mismo volumen de aire pesa tanto menos cuanto más caliente sea y cuanta más humedad contenga.

Vamos ahora a pensar en un *sandwich*, en un *bocadillo de aire* de tamaño gigantesco: un colchón de aire que en su base esté a la presión de 1.000 milibares y en su parte superior a la de 500 milibares. Es decir, las dos superficies que lo limitan, las dos rebanadas de pan del *sandwich*, van a ser aquí las superfi-





cies isobáricas de 1.000 milibares (por abajo) y de 500 milibares (por arriba).

Si el aire está frío, es muy denso, muy pesado; en tal caso, la diferencia de presión que va de 1.000 a 500 milibares se logrará con una capa o «espesor» relativamente estrecho, y tanto más estrecho cuanto más frío y más seco esté el aire. Quiere esto decir que, en este caso, será un *sandwich* muy poco grueso. Lo contrario ocurre si el aire está caliente y húmedo.

O sea, que *el «espesor» del estrato de aire comprendido entre dos superficies isobaras es mayor cuanto más lo sean su temperatura y su humedad.*

La cosa tiene más enjundia de la que, a primera vista, puede parecer. El tema es fundamental e interesantísimo en la meteorología moderna. Y para que no resulte demasiado árido y sea de fácil comprensión, vamos a darle un rodeo.

LA «AUSENCIA» DE CALOR

Muchas veces recuerdo a mi profesor (q.e.p.d.) de geografía e historia del Instituto de Toledo. No sé ahora, pero en mis tiempos de bachillerato hacía un frío grande en invierno en aquel viejo palacio que fue del cardenal Lorenzana. En el aula, de techo altísimo, hacía un frío que pelaba a las nueve de la mañana, a pesar de una pequeña estufa de leña que acababan de encender. Don Constantino, que así se llamaba el catedrático, nos miraba con ojos cariñosamente burlones y nos decía: «¿Qué hacen



con los abrigos puestos y las solapas levantadas? ¿Es que no saben que el frío no existe, que lo que hay es *ausencia de calor*?... ¡Pregunten, pregunten a don Miguel!» Don Miguel, era naturalmente, el catedrático de física y química.

Realmente tenía razón don Constantino. El frío se produce robando calor. Nosotros no teníamos frío en aquel aula, teníamos *falta de calor*. Claro que el padre de mi amigo Rafael, cuando se lo contábamos, decía: «Pues preguntarle que por qué lleva el abrigo con forro de piel si no existe el frío.»

Si ustedes pasan por detrás de uno de esos refrigeradores de ventana que se ponen en las habitaciones, verán —si está funcionando— qué bofetada de calor notan: es el calor que el aparato *saca* de la habitación para refrigerarla. Y si tocan la parte de atrás de un frigorífico, notarán lo caliente que está.

EL VAPOR DE AGUA, ALMACÉN DE CALOR

Todos saben cómo se produce el vapor: calentando el agua. ¿Adónde va a parar el calor que se dio al líquido? La respuesta es: *queda almacenado en el vapor* en forma de lo que se llama, técnicamente, «calor latente de evaporación». Allí está el calor, está *latente* en las moléculas del vapor. Una buena prueba de ello es que si quitamos calor al vapor, enfriándolo, éste vuelve a condensarse. No otra es la razón del rocío, de las nieblas, del empañado de los cristales en invierno, de la formación de las nubes... Si ustedes dan calor al agua líquida, la convierten en vapor. Y si quitan calor al vapor, lo convierten en agua líquida. ¿Qué es lo que ha hecho el calor para convertir en vapor el



agua?: separar sus moléculas, dispersarlas; el calor, que es una forma de la energía, les ha dado la suficiente para que se muevan más veloces y logren escapar las unas de la natural atracción de las otras, separándose a grandes distancias. Según esto, resulta que si yo las aprieto fuerte y las comprimo unas contra otras, hasta volver a ponerlas muy próximas, llegará un momento en que sus mutuas fuerzas de atracción las hagan volver a unirse, apareciendo otra vez el líquido. En este caso no ha sido necesario robar calor al vapor para hacerlo líquido: se logró comprimiéndolo. Pero entonces, *ese calor le sobra y lo desprende espontáneamente. Por eso el compresor de un frigorífico se pone caliente.*

UN RICO SIN DINERO

Ustedes habrán oído contar anécdotas de tal princesa o tal rey a quien se le antojó un helado por la calle, lo tomó en una heladería y se encontró con que *no tenía dinero para pagarlo.*

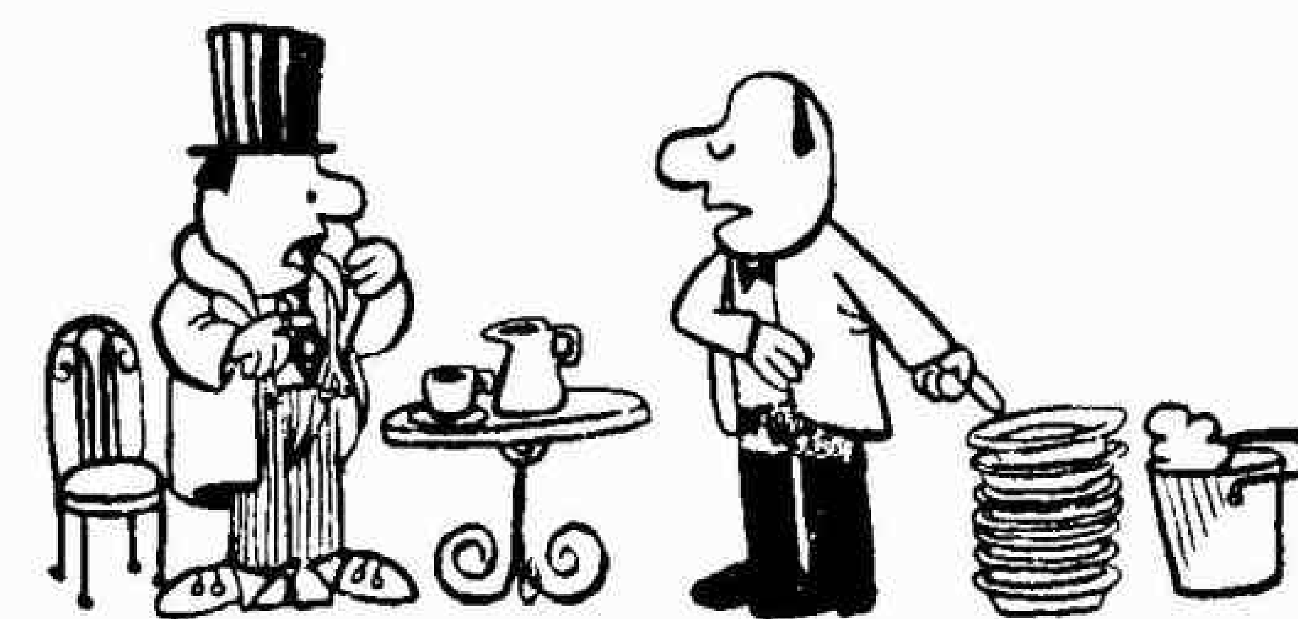
Es muy probable que a un multimillonario le pongan en un aprieto si ha de pagar «al contado» un millón de pesetas. ¿Es que no lo tiene? Evidentemente, sí; pero puede que no en *dinero contante*, en dinero *efectivo*, si no le han avisado con

tiempo. Él lo tiene, pero lo tiene invertido. Él es muy rico, multimillonario: tiene mucho dinero *virtualmente*, pero no puede disponer de todo su capital *de repente*.

Y volvemos a nuestro aire. Cuando está húmedo, con abundancia de vapor de agua, su temperatura real es una, la que sea, la que indique el termómetro. Pero *virtualmente* tiene mucha más temperatura. Lo que ocurre es que la tiene empleada en mantener el agua en forma de vapor. Si al aire comprendido en el *sandwich* de antes se le condensase todo su vapor haciéndolo agua líquida, de modo que devuelva al aire ese «calor latente de evaporación» que tiene almacenado, el aire se calentaría y se dilataría. Al mismo tiempo, la pérdida del vapor lo hace más denso, más pesado.

Si, justamente, todo lo que se hace de más denso y pesado el aire al quitarle el vapor lo compensa con la dilatación que provoca en él el calentamiento dicho, entonces su peso sobre un centímetro cuadrado de superficie *(la presión)* no cambia. El aire habría recuperado todo su capital termométrico, sin por ello cambiar su peso específico, y su temperatura real sería entonces mucho mayor que la que tenía al principio. Esta última temperatura es lo que, técnicamente, se considera como la «temperatura virtual» del aire, antes de hacerle nada, es decir, cuando aún tenía su vapor.

Resumiendo: Que si el aire está húmedo, *una es su temperatura real y otra, mayor, su «temperatura virtual»*. Esta temperatura virtual mide en realidad la densidad, el peso específico del aire. Si el aire está seco, pero muy caliente, el *sandwich* de antes es de mucho espesor. Si el aire está frío, pero con mucha temperatura virtual, será porque contenga mucho vapor de agua y el *sandwich* seguirá siendo de mucho espesor, a pesar de ser



frío el aire. Por tanto, *lo que refleja, lo que mide el «espesor» entre los 500 y los 1.000 milibares, es la «temperatura virtual» del aire*. Esta temperatura virtual es *el verdadero capital térmico del aire*.

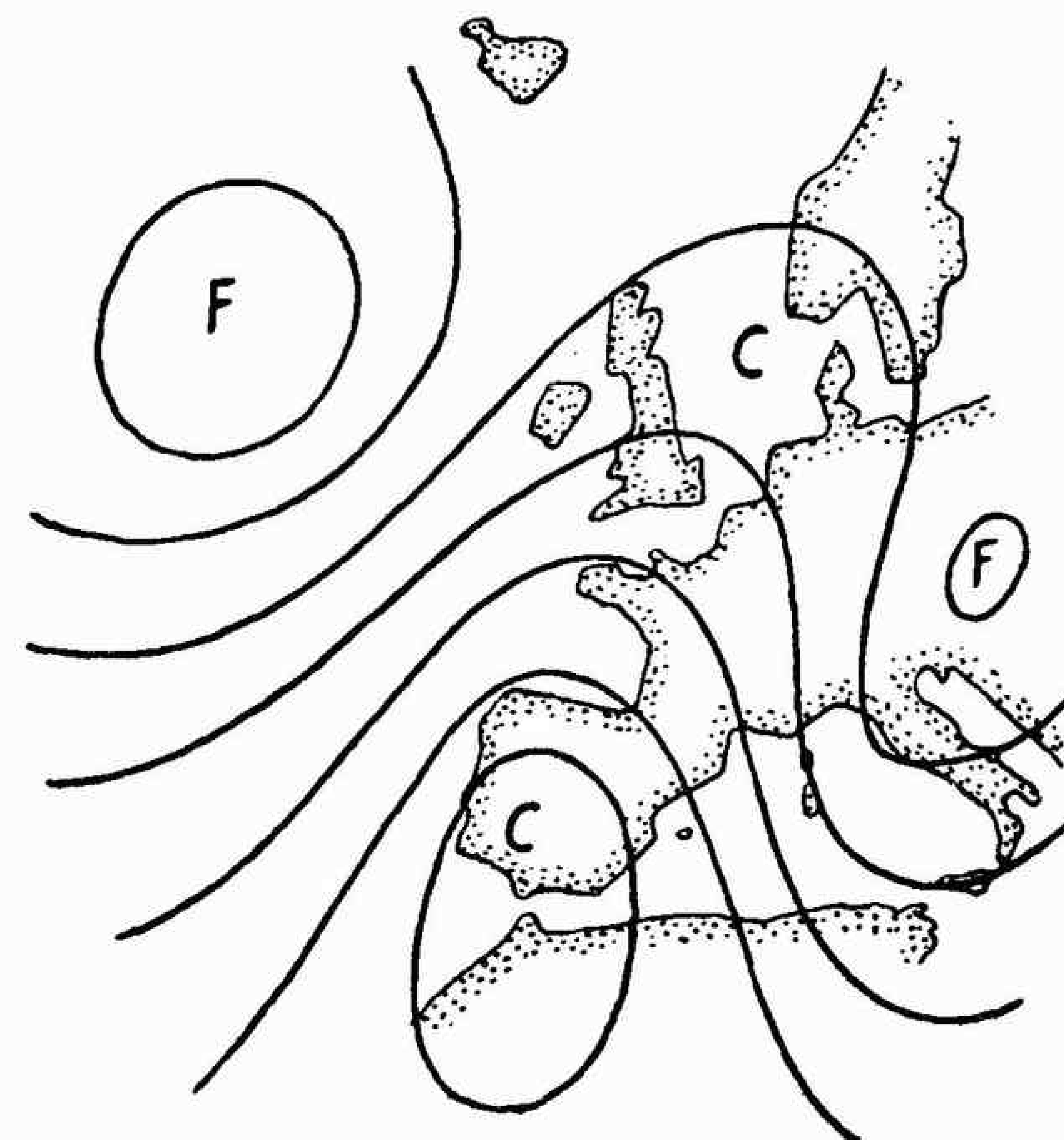
EL MAPA DE LA VERDAD

Volviendo a nuestros mapas, cabe, en primer lugar, preguntar si este «espesor» entre dos superficies isobaras, esa distancia que separa las rebanadas del *sandwich*, puede ser representado en conjunto, a vista de pájaro, en un mapa meteorológico más. La contestación es que sí: no hay más que restar, en cada punto en que se cuenta con sondeo, de la altitud a que están los 500 milibares de presión la que corresponde a la presión de 1.000 milibares en el mismo lugar. Y esa diferencia ponerla en el correspondiente sitio del mapa. Tal diferencia será el espesor de que se ha hablado. Los valores más altos corresponderán a un espesor mayor, a aire con mayor «temperatura virtual», a aire más caliente, o más húmedo, o ambas cosas a la vez. Los más bajos, a aire más frío, o más seco, o ambas cosas a la vez, es decir, con menor «temperatura virtual».

Si en dicho mapa se unen los puntos de igual espesor, es decir, los que tengan puesto el mismo número, obtendremos un conjunto de líneas completamente similar al de una topografía absoluta, sólo que los números que figuran en las líneas no indican altitud de los 500 milibares sobre el nivel del mar, sino *sobre la superficie de 1.000 milibares*. Estas líneas se suelen trazar, igual que en las topografías absolutas corrientes, de 60 en 60 metros. El mapa recibe el nombre de *«topografía relativa» de 500 sobre 1.000 milibares*, porque nos indica si los 500 milibares están bajos o altos *con relación* a los 1.000 milibares.

Donde aparezca en ese mapa una zona de «espesor» pequeño (zona de *baja*) es que el aire es virtualmente frío. Donde el «espesor» es grande (zona de *alta*) el aire es esencialmente caliente y húmedo, con mucha temperatura virtual. Por eso, en estos mapas, a las regiones de baja o borrasca se las señala con una F (inicial de frío), y a las de alta o anticiclón con una C (inicial de caliente).

Las regiones con F están hundidas, como valles, en la atmósfera, porque contienen aire denso; las que llevan una C es-



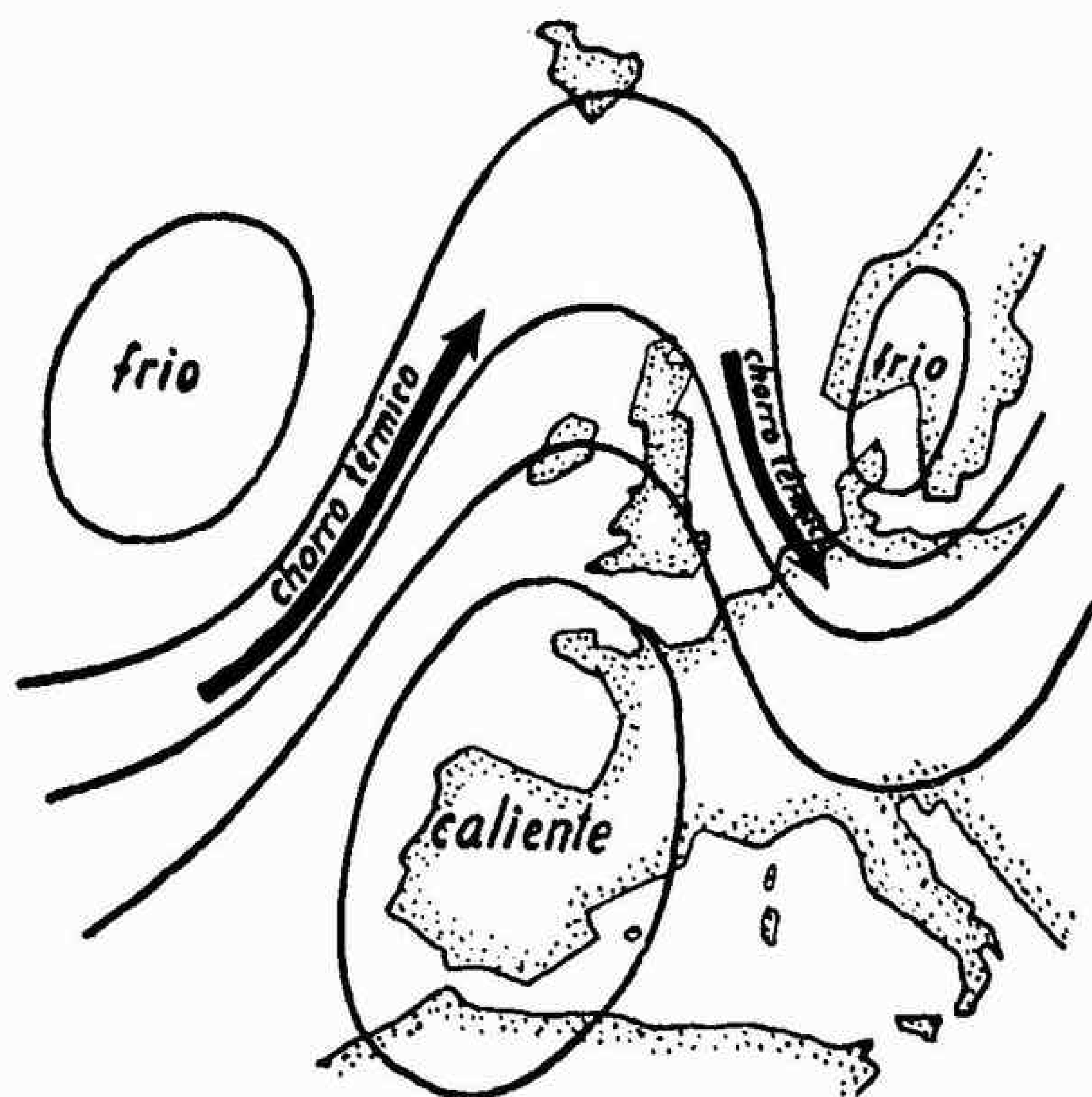
tán levantadas, como montañas, en la atmósfera porque contienen aire ligero.

Estos mapas de la topografía relativa representan verdaderamente cómo es el aire en las distintas regiones del mapa; con ellos se puede seguir, sin grandes dudas, la evolución de las distintas masas de aire. No hacen innecesario el mapa de las isobaras, sino que lo aclaran y perfeccionan, del mismo modo que la radiografía de un brazo herido no evita el reconocimiento externo del médico. Estos mapas no están construidos con datos de la presión atmosférica medida en los miles de observatorios, que es una imagen imperfecta, un reflejo incompleto de la clase de aire que hay encima. En estos mapas está retratado *el aire mismo*, tal como es, con su riqueza total de temperatura, tanto la que tiene en forma contante y sonante (la que marca el termómetro) como la que tiene empleada y almacenada en el vapor de agua. Son *los mapas de la verdad*.

UN VIENTO FICTICIO

Vean, en la figura, un mapa de topografía relativa. Notarán en él un área caliente entre dos zonas frías. Fíjense en lo apretado de las líneas en las regiones que separan el área caliente de las áreas frías. Si se tratase de una topografía corriente, es decir, de un mapa de altura o topografía absoluta, pensaríamos inmediatamente en vientos muy fuertes en esos lugares. Quizás en dos trozos de corriente en chorro como los representados por las flechas gruesas. Pero aquí las líneas no son *caminos* del aire, no son isobaras; son, según sabemos, líneas de igual temperatura (aunque sea *virtual*). Son, pues, líneas *isotermas*, pero no isotermas corrientes, sino *isotermas virtuales*. También son *isohipsas* o líneas de igual altitud, pero no isohipsas corrientes o absolutas, sino *isohipsas relativas*, ya que dan la altura de los 500 milibares *con relación* a, o sobre los, 1.000 milibares.

Al ser isohipsas, cabe pensar en un viento que corra enca-





rrilado por ellas, de modo similar a como ocurría con el viento en altura y las isohipsas de la topografía absoluta. Tal viento se tiene en cuenta en el trabajo diario de las oficinas meteorológicas, pero no existe en la realidad; es un viento *ficticio*, obtenido matemáticamente y al cual se le llama «viento térmico».

Quizás usted, lector paciente y ojalá que prendido su interés, se pregunte: ¿Y para qué sirve un viento que no existe, un viento *matemático*? ¿Es que puede notarse en algún modo su existencia? Mi contestación es que sí a ambas preguntas. Veamos cómo.

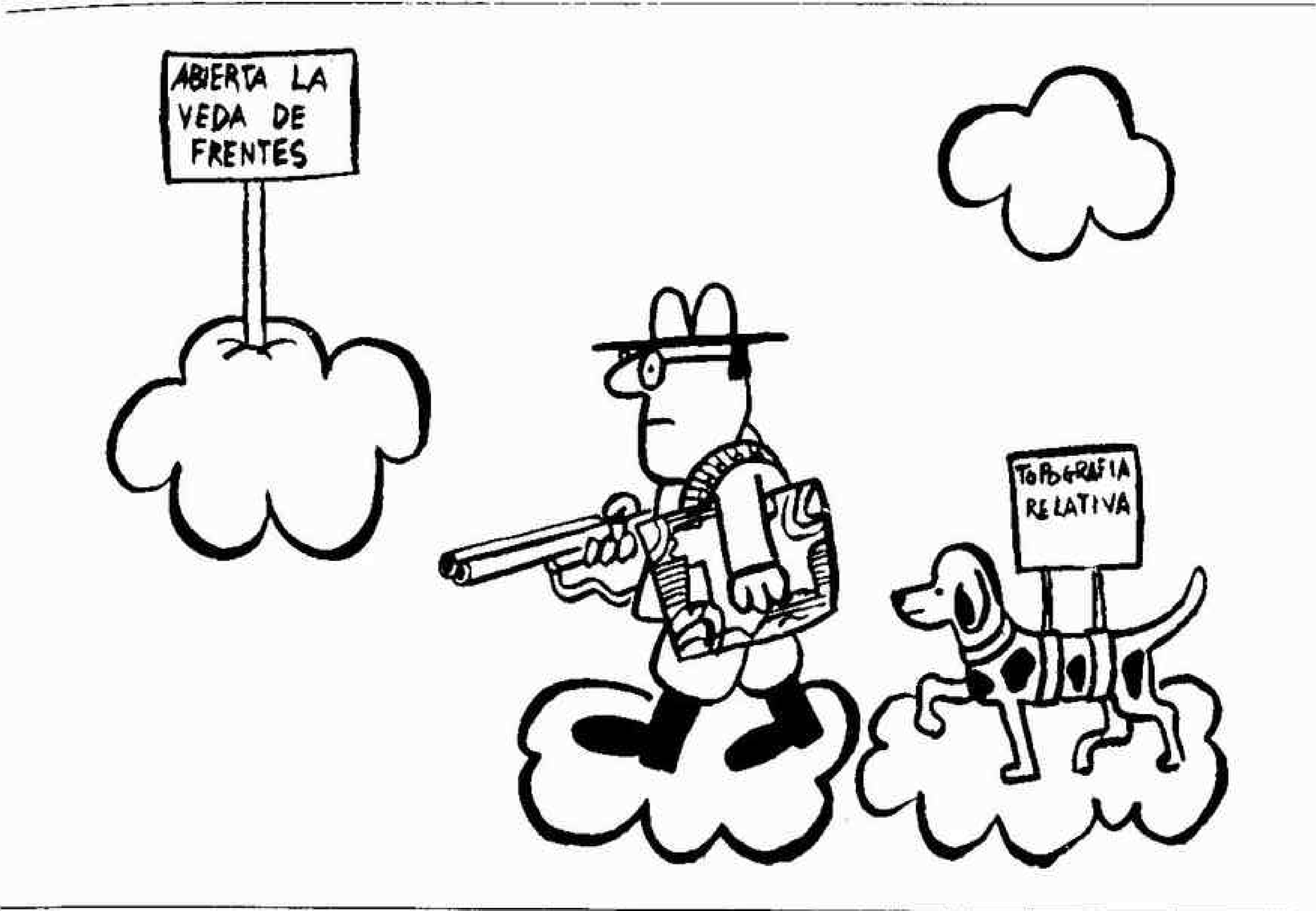
Si ustedes han viajado en motocicleta, en coche descapotado o en avioneta de carlinga descubierta, habrán observado que en días de calma absoluta notan un viento que les da en la cara, un viento que, puesto que hay calma, *no existe;* un viento *ficticio*, pero que ustedes lo notan de modo efectivo. Y si es un día ventoso, ustedes no notan al viajar el viento que señala la veleta y mide el anemómetro, sino otro distinto, más fuerte o más flojo que el real y de la misma dirección o de otra distinta: depende de la velocidad y de la dirección, tanto del viento real como de su vehículo. De la misma manera, si usted viajase en un descomunal vehículo que flotase continuamente al nivel de los

1.000 milibares y fuese arrastrado constantemente por el viento real a ese nivel, y si su cabeza quedase a la altura de los 500 milibares (bajando cuando están bajos y subiendo cuando están levantados) incesantemente, *el viento que usted notaría en la cara sería, justamente, ese viento ficticio, ese «viento térmico»* de que antes hablábamos. Y en regiones como las que tienen en el mapa las flechas gruesas, ese viento térmico sería fortísimo.

Por analogía con lo que sucede con el viento real, a esas fuertes corrientes de viento térmico se las llama «chorros térmicos».

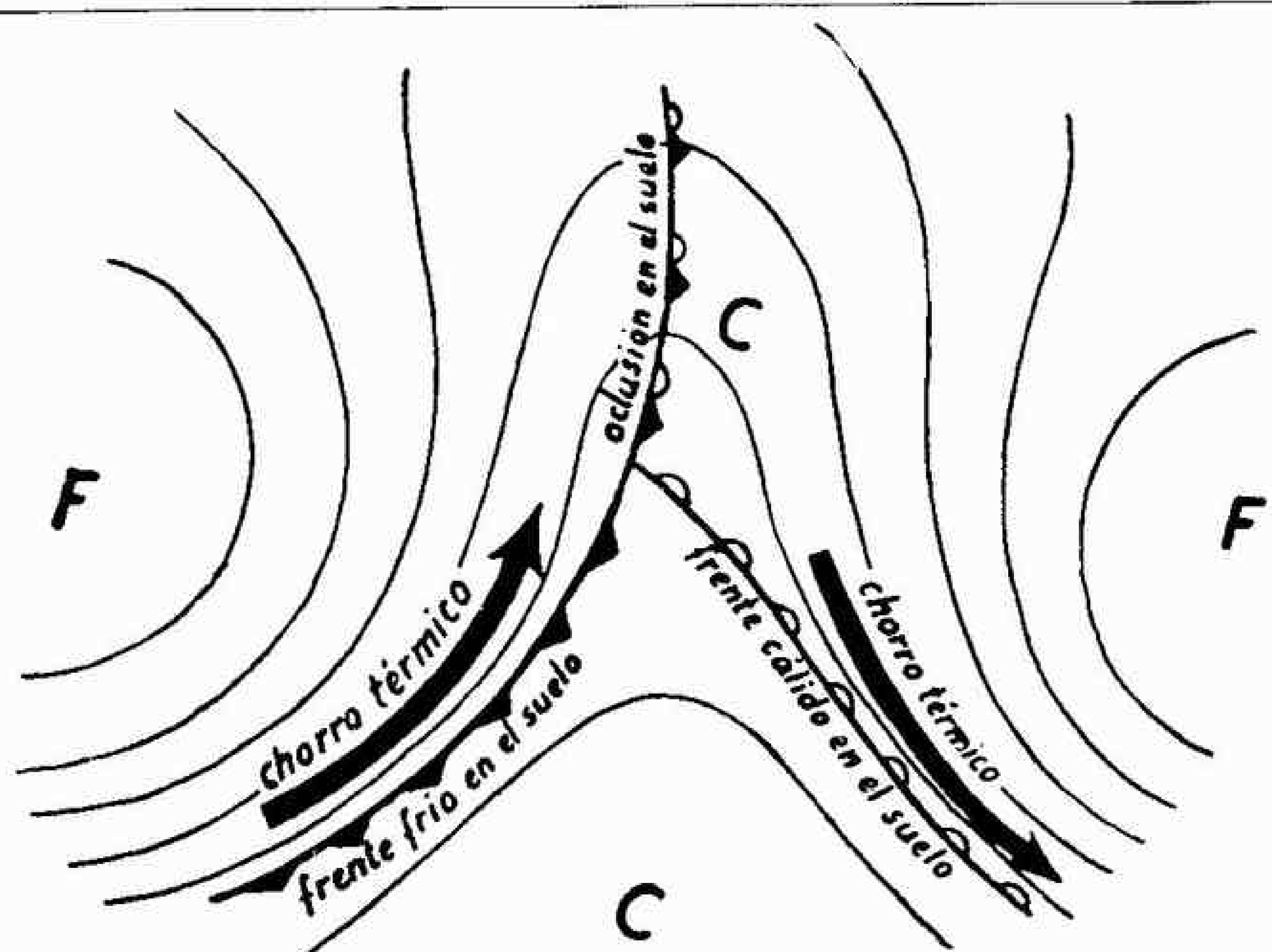
CAZANDO FRENTES

Quizás ustedes se hayan preguntado alguna vez cómo se las arregla el meteorólogo para localizar y dibujar esos frentes cálidos y fríos y esos otros ocluidos que originan lluvias o chubascos. Les diré que hay reglas, naturalmente, bien establecidas para distinguir las distintas masas de aire que separan los frentes: éstos no son, según hemos visto ya, más que la frontera entre dos masas de aire diferentes, en las cuales el viento suele soplar de distinta manera, las temperaturas suelen ser distintas, la visibilidad no suele tener el mismo alcance y la humedad del aire es distinta también; además, la presión atmosférica suele estar bajando delante de los frentes y subiendo detrás, siendo asimismo características las nubes y la forma de precipitación para cada frente, según veremos en el próximo capítulo. Pero hay que decir también que todos esos síntomas o señales no siempre saltan bien a la vista. En ocasiones, más frecuentes de lo que fuera de desear, aparecen enmascarados, difusos, débiles, haciendo difícil la labor analizadora y, por supuesto, la de predecir el tiempo. Les diré también que mediante el uso de las topografías relativas descritas, la labor de localización de frentes se hace mucho más sencilla y lógica, mucho más rápida y efectiva. Y es fácil comprenderlo: no tienen más que pensar en esos «chorros térmicos» ya explicados. ¿Dónde y cuándo aparecen? Solamente en las regiones que separan el aire virtualmente muy cálido del virtualmente muy frío. Cuando estas dos clases de aire están muy cerca una de la otra, en la región que las separa varía muy rápidamente la temperatura, ya que en poco espacio hay que pasar de la muy alta del cálido a la muy baja del frío. En consecuencia, las líneas de la topografía relativa (las «isotermas virtuales») estarán muy apretadas, muy juntas, apareciendo esos «chorros térmicos» en la zona intermedia. Pero precisamente lo que separa ambas masas de aire tan distintas es el frente (cálido o frío, según sea la masa caliente la que avanza o lo haga la fría).



Resulta, pues, que *los chorros térmicos y los frentes son la misma cosa*. Los frentes, por otra parte, sólo son verdaderamente activos si las clases de aire que separan son muy distintas, y esto mismo tiene que ocurrir para que aparezcan esos chorros térmicos. Si el contraste entre las masas de aire es débil, no habrá chorro térmico y las líneas de la topografía relativa estarán poco juntas. En resumen, que la topografía relativa es un magnífico *sabueso* para *ojear* frentes; que éstos coinciden en su trazado con los tan repetidos chorros térmicos o con las líneas más apretadas que aparezcan en estos mapas, las cuales, además, nos dan una idea muy clara de si se trata de frentes activos o débiles, según que estén más o menos juntas.

En cuanto al frente ocluido, u oclusión, recuerden que se trata de un frente especial en el que se han unido el frente frío



con el cálido; que a ambos lados tienen aire frío, aunque con distinta frialdad; que el aire caliente que separaba ambos frentes antes de unirse queda flotando en niveles más altos. Por todo lo cual, en las topografías relativas las oclusiones no se denuncian como los otros frentes, sino como una lengua estrecha de aire cálido, lo que significa que cuanto más abajo, más estrecha será, hasta llegar al suelo, o a poca distancia de él, donde no hay ya tal aire caliente.

La figura anterior ilustra y trata de aclarar las ideas sobre el particular.

Lo más frecuente es que sólo aparezca chorro térmico en la parte del frente frío.

GOTAS Y BURBUJAS

Vimos en el capítulo anterior otra clase de perturbaciones atmosféricas capaces de producir mal tiempo: las «gotas de aire frío». Por lo que respecta a España, o a cualquier otra región de la Tierra que esté en la zona templada, pero casi en el límite con la zona subtropical, estas «gotas» producen los cambios a mal tiempo más rápidos y espectaculares. Ya vimos todo esto. Pero ¿cómo se sabe que una determinada borrasca es realmente una

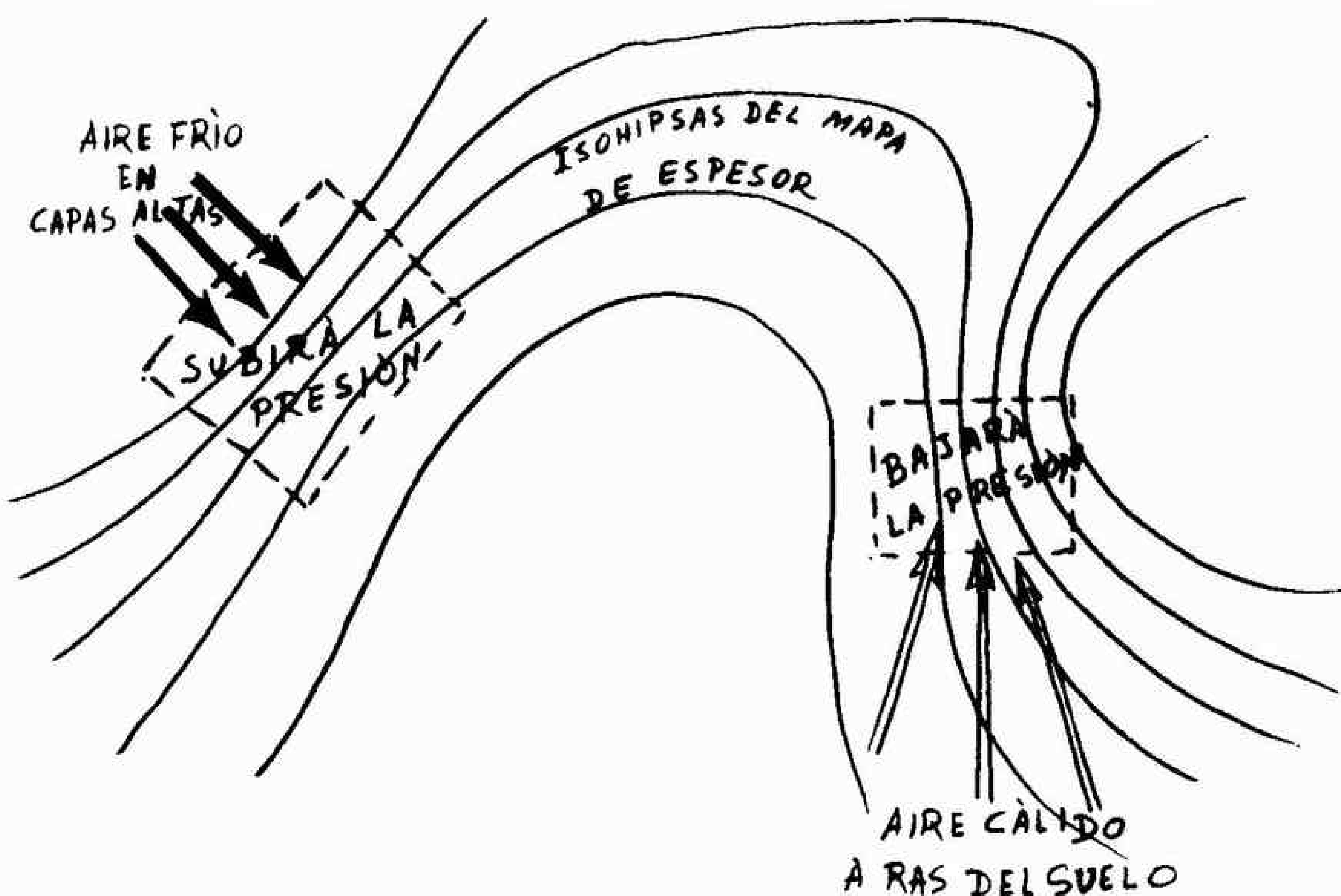
«gota fría»? Hay bastantes síntomas que las definen; los más corrientes se describieron en el capítulo anterior. Pero la forma de identificarlas más rápida y sencillamente, sin lugar para las dudas, es mediante los mapas de topografía relativa. En éstos aparece, en tales casos, una zona de F casi perfectamente circular y *rodeada por todas partes de aire más cálido*. No aparece la disposición característica de los frentes cálidos y fríos de la figura anterior. Si acaso, *parece como si hubiera un frente frío casi circular* rodeando la perturbación o parte de ella y adaptándose perfectamente a las líneas que la delimitan en su borde exterior; pero en seguida se echa de ver que tal frente no lo es en el sentido normal y corriente de la palabra, pues no se mueve según las reglas, sino que a veces incluso retrocede de un mapa al siguiente, o desaparece y vuelve en otro posterior a aparecer en el sitio más extraño.

De la misma manera, las «burbujas de aire cálido» se denuncian clarísimamente en las topografías relativas como un área de C con el aire tropical aislado en latitudes anormalmente altas (muy al norte en el hemisferio septentrional y muy al sur en el hemisferio meridional) y rodeada por todas partes de aire polar.

MÁS APLICACIONES

Lo hasta ahora dicho constituye la teoría y aplicaciones más importantes que de este tipo de mapas obtuvo el alemán Scherhag, a quien se debe el nombre de «topografía relativa». Pero casi al mismo tiempo que él, por caminos diferentes y tratando de aplicar ideas distintas, llegó a obtener estos mismos mapas otro gran científico contemporáneo: el británico Sutcliffe, quien les dio el nombre de «mapas de espesor», por razones obvias. Entre las conclusiones prácticas más importantes de este investigador, que demostró teóricamente de modo incontestable, están las siguientes:

— Las borrascas o depresiones esencialmente móviles (es decir, las que tienen *frentes*, y buena parte de su aire es cálido) siguen en su traslación al «viento térmico» más fuerte que haya en sus proximidades; lo mismo hacen los anticiclones móviles (anticiclones fríos).



— Si contra una zona de viento térmico fuerte (área con líneas muy apelmazadas en el mapa de espesor) embiste de frente aire cálido a ras del suelo, allí bajará la presión atmosférica de manera que se formará una borrasca; o si ya la hay, se hará más profunda; o si hay alguna cerca, se dirigirá rápidamente hacia allí.

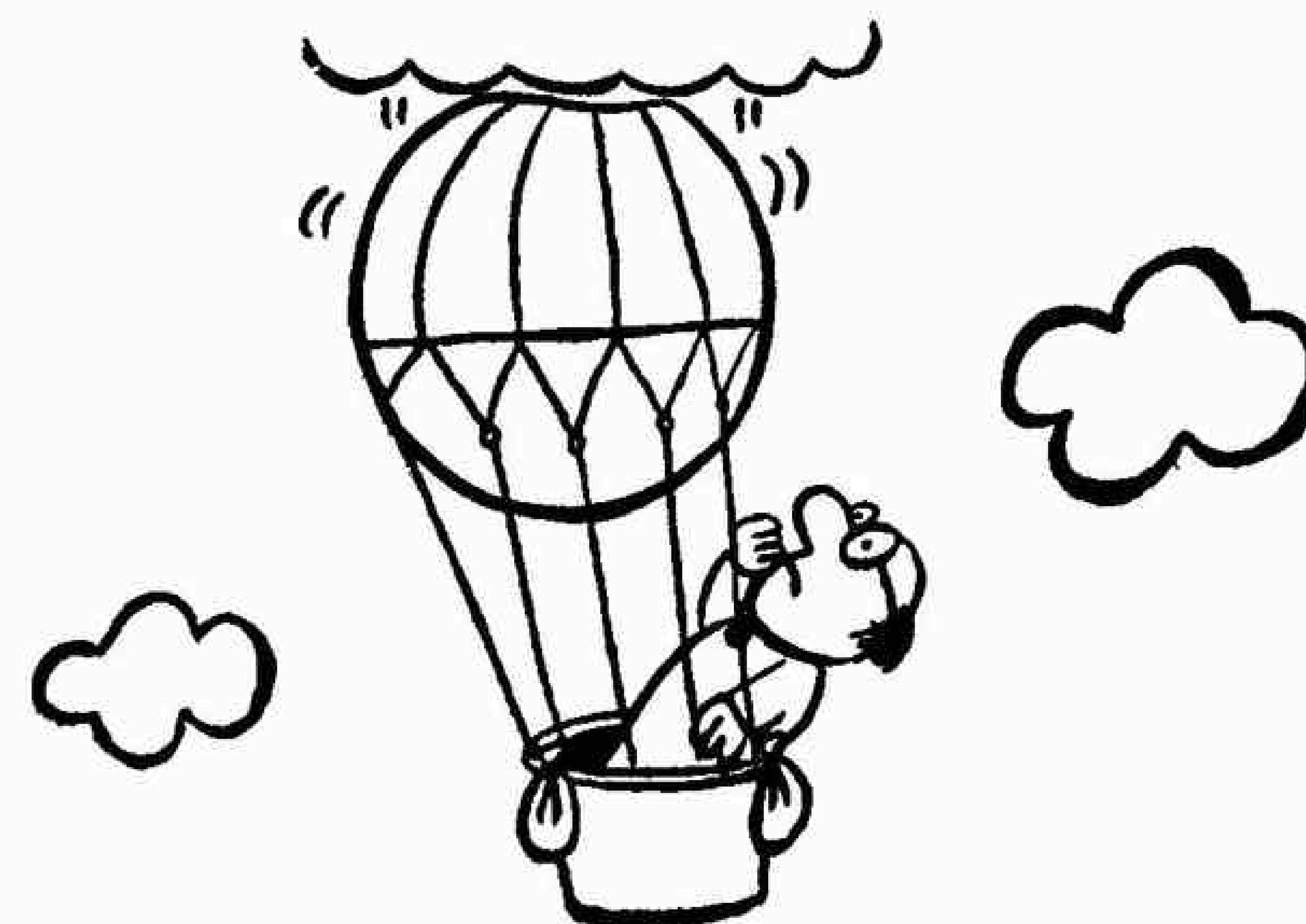
— Si contra una zona de viento térmico fuerte embiste de frente aire frío por las capas altas, allí subirá la presión junto al suelo, moviéndose o extendiéndose hacia allí rápidamente cualquier anticiclón móvil que haya cerca; o se formará allí uno o se reforzará si ya existía.

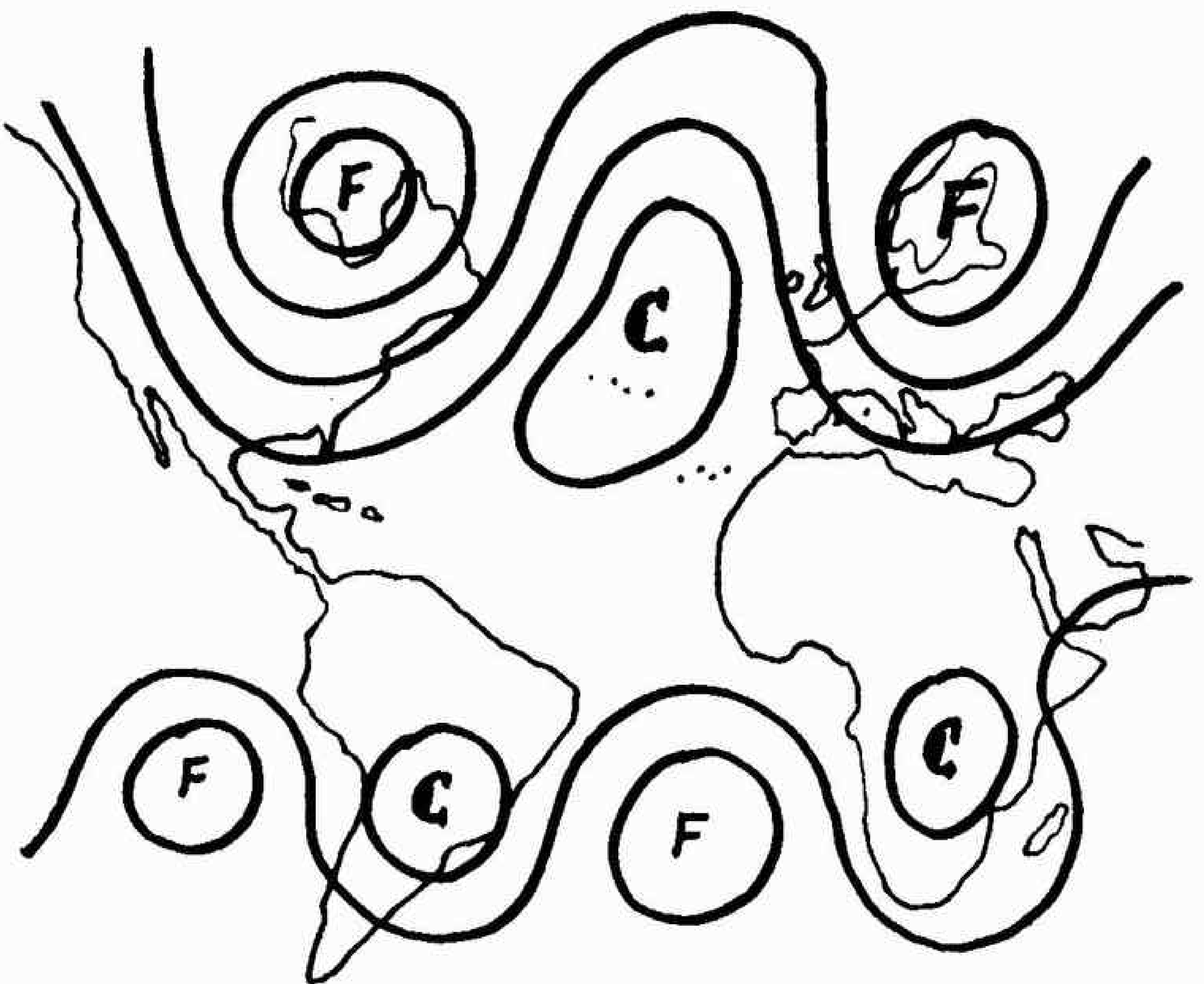
CAPÍTULO VII

LA FRONTERA DEL TIEMPO

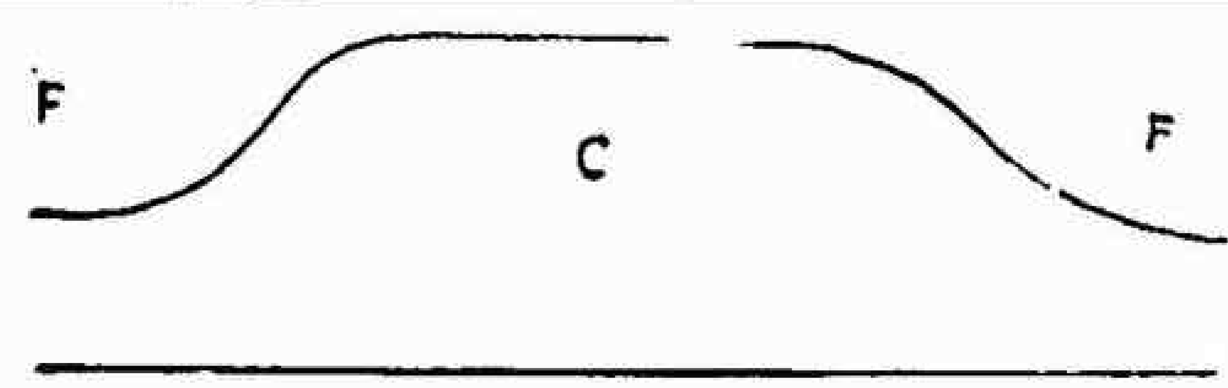
Cuando el profesor Piccard hizo sus famosas ascensiones en globo para tratar de explorar la estratosfera, se encontró con que el aeróstato, al llegar a una altitud de alrededor de 10.000 metros, encontraba grandes dificultades para seguir subiendo, pues llegaba un momento en que *rebotaba como si hubiese encima un techo, una tapadera*. Era incluso necesario, a veces, tirar lastre para que el globo siguiese ascendiendo.

¿Sería posible que existiese realmente esa tapadera invisible? Vamos a ver lo que nos dice la topografía relativa explicada en el capítulo anterior, lo que deducimos de las *isotermas virtuales*.



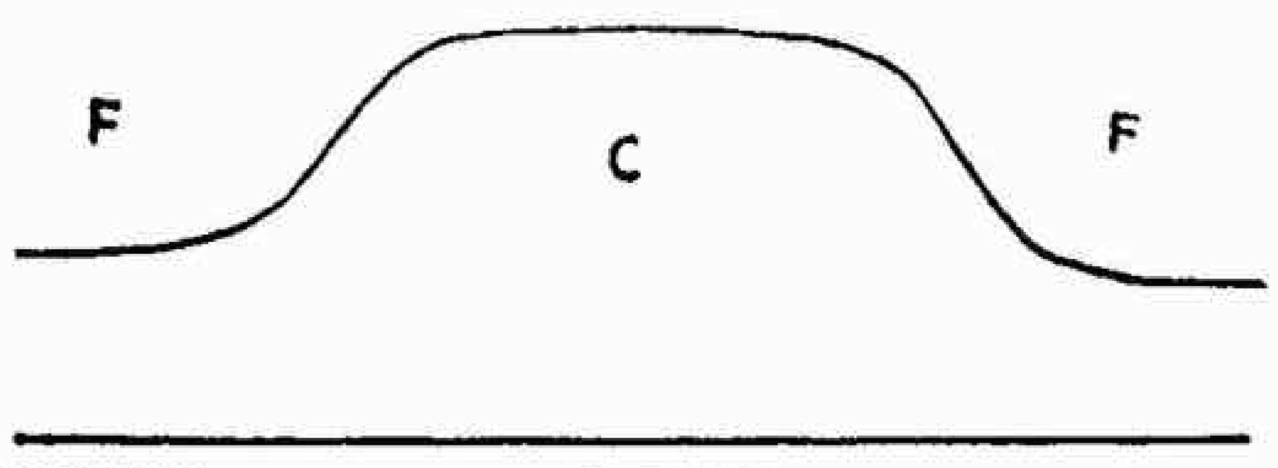


Observen la anterior figura. Lo que se ve en ella es una lengua de aire cálido entre dos áreas frías. Hagan un pequeño esfuerzo de imaginación y en vez de verlo como está pintado, es decir, desde arriba, a vista de pájaro, traten de verlo «en corte vertical». O sea, en vez de ver la rebanada de encima del *sandwich* a vista de pájaro, con sus altibajos debidos a que la capa aérea intermedia (el jamón del *sandwich*) es desigualmente gruesa, supongan que lo ven cortado de manera que pueda apreciarse todo lo que hay, al mismo tiempo: las dos rebanadas y el contenido. Un esfuerzo más e imaginen que la rebanada de abajo la colocan sobre una plancha bien horizontal, a la que se

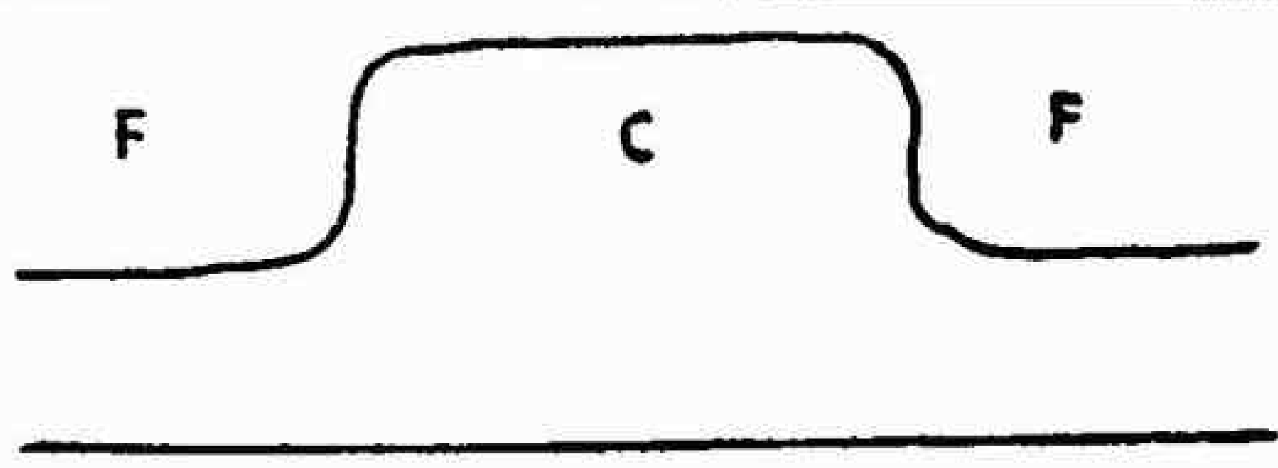


adapte por el propio peso de lo que tiene encima. Entonces sólo se acusarán las ondulaciones en la rebanada de arriba: las dos regiones frías aparecerán como valles hundidos y la región cálida como una meseta o montaña plana entre ambos valles. La figura anterior lo muestra.

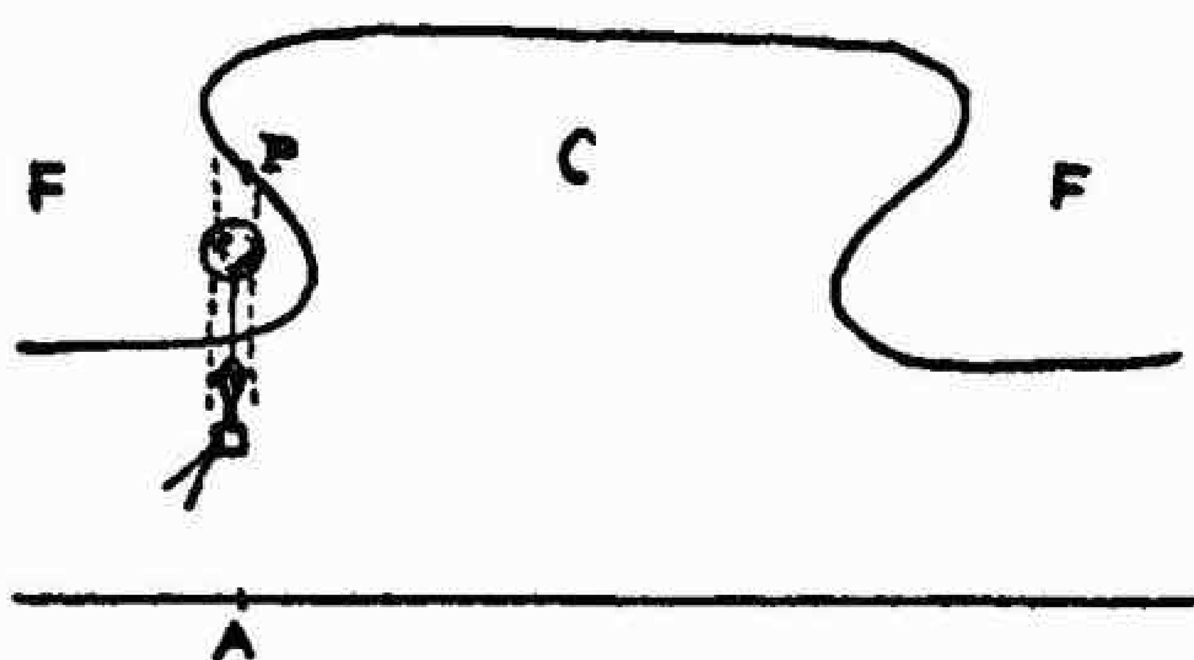
¿Qué pasará si vamos considerando otros *sandwiches* de éstos, pero cada vez más arriba en el seno del aire? Es decir, primero la topografía relativa de 500 sobre 1.000 milibares, después otras más hacia arriba como, por ejemplo, la de 400 sobre 700 milibares, después la de 300 sobre 500 y por fin la de 100 sobre 300 milibares. Ocurrirá que el aire poco denso, el más caliente, irá estando cada vez más a sus *anchas* y se expansionará; mientras que el aire denso, el frío, se va quedando rezagado, ya que tiende a hundirse. En consecuencia, las laderas que separan la montaña cálida de los valles fríos irán estando más empinadas, más abruptas, a medida que la capa aérea considerada esté a mayor altitud. La representación, en corte vertical, adoptará la forma que indica la figura siguiente.



Resulta lógico pensar (y así ocurre en la realidad) que llegará un momento en que dichas laderas aparezcan como paredes verticales tal como trata de representar la figura siguiente.



Un poquito más que subamos y las citadas laderas se inclinarán hacia el otro lado, desbordándose el aire caliente por encima del frío. La figura será así:



Supongamos ahora un globo (v. fig. anterior) que partiendo de la posición A, fuese ascendiendo: se iría encontrando aire progresivamente más frío hasta llegar al punto P, a partir del cual, de repente, encuentra aire cálido. Esto mismo ocurre cada día con los radiosondas que se lanzan en las estaciones aerológicas: ascienden y, por lo general, van encontrando aire progresivamente más frío (con algún pequeño retroceso o «inversión de temperatura» cuando atraviesen un «frente») hasta llegar a 10 ó 12.000 metros; a partir de los cuales el aire se hace repentinamente más cálido o, por lo menos, la temperatura desciende menos deprisa que lo venía haciendo hasta ese momento. Por eso, precisamente, los globos pierden fuerza ascensional al llegar a esas alturas, porque se encuentran aire más ligero en el que les es más difícil ascender; y pueden llegar incluso hasta quedar parados.

La altitud a la que ocurre este cambio brusco, a aire menos frío, es muy especial e importante: es la altitud de la «tropopausa». La «tropopausa» es una superficie, o lámina de aire, tal que por debajo de ella queda la «troposfera» o parte de la atmósfera donde tienen lugar los fenómenos de buen y mal tiempo, es decir, las lluvias, nubes, etc. Por encima de la tropopausa está la «estratosfera», meta de las investigaciones del profesor Piccard. La tropopausa es, pues, la *frontera del tiempo*. Por encima de ella

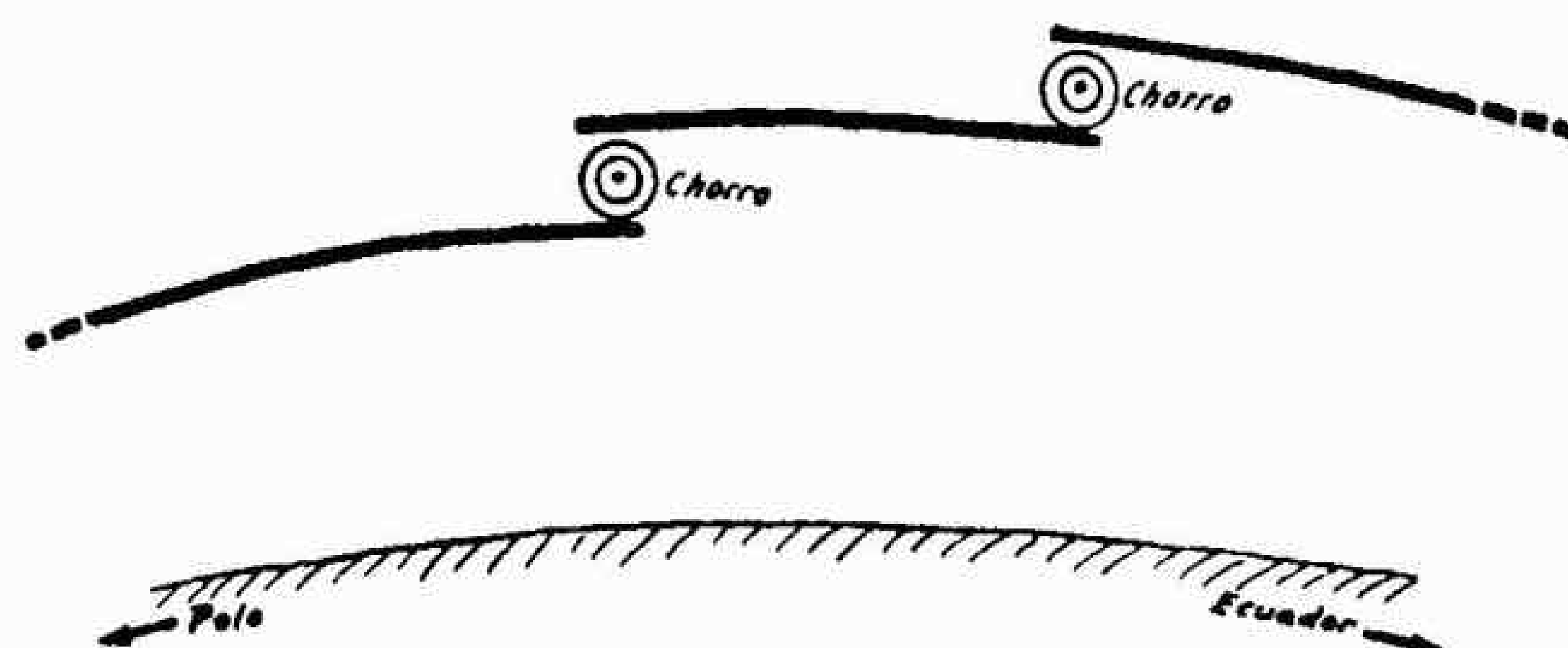
no hay nubes de agua, ni hay lluvia ni lo que solemos llamar mal tiempo.

UN GRADERÍO DE GIGANTES

Vimos a su debido tiempo que la superficie isobárica de 500 milibares, u otra superficie isobárica cualquiera, no es perfectamente paralela a la superficie de la Tierra. La envuelve, eso sí, pero hundiéndose en las regiones frías y abombándose, elevándose, sobre las cálidas. Estos altibajos, al modo de una *montaña rusa,* tienen lugar de una manera regularmente continua, sin escalones.

No ocurre así con esa otra superficie tan especial llamada «tropopausa». En ésta *sí que hay escalones*. Y no sólo es curiosa por esto, sino que ya hemos visto que es una especie de *tapadera* de una importante parte de la atmósfera. En ella termina el «tiempo atmosférico». Por encima de ella sigue habiendo aire, naturalmente, pero un aire muy enrarecido que no produce *tiempo*. Este aire forma, como ya se ha dicho, la «estratosfera». Allá arriba, a unos 11.000 metros de altitud, en la *frontera del tiempo,* las cosas se simplifican bastante.





Fíjense en que decimos *a unos* 11.000 metros. Lo que significa que esa altura no es exacta ni uniforme. En efecto, la tropopausa está más cerca de la Tierra en los polos que en el ecuador. Y de una manera muy *sui géneris,* además. Como si fuese un graderío de gigantes, con dos descomunales escalones que separan tres grandísimos rellanos de esa escalera, cada vez más altos, que suben desde cada polo al ecuador. Es un graderío que, visto desde arriba, forma como una plaza de toros o enorme circo romano a escala hemisférica; pues los rellanos de sus escalones dan la vuelta completa a la Tierra, como paralelos geográficos, en forma circular. La figura anterior trata, en esquema de corte vertical, de mostrar cómo es.

Entre cada dos rellanos hay un verdadero corte o *socavón* de la tropopausa; y son dos (que circundan la Tierra) en cada hemisferio. Más que socavones son *tajos,* como ocurre en los cauces de los ríos, aunque, en este caso, con las dos orillas a diferente altitud. Y verdaderamente que la comparación es feliz, porque...

TODO ENCAJA

Vamos a imaginar (aquí todo es a fuerza de imaginación), por un momento, que estamos cerca del polo y a una altitud de unos 7.000 metros. Ésta es la altitud media del *primer rellano* de la tropopausa. Fíjense ahora en la figura anterior. Si andamos sobre este rellano en dirección al ecuador, iremos cuesta arriba por una suave pendiente hasta encontrarnos con una grave dificultad: se nos interpone en el camino nuestro antiguo conoci-

do «el chorro», que a manera de río circula por el enorme tajo que separa el primer rellano del segundo. Se trata, como ven, de un río de orillas desigualmente altas, pues el segundo rellano se eleva ya a unos 12.000 metros por término medio. El chorro sirve como de escalón entre ambos rellanos, corriendo por el enorme tajo que los separa. Si, salvada esta dificultad y encaramados al segundo rellano del graderío, continuamos nuestro viaje hacia el ecuador, volveremos a caminar por una suave pendiente cuesta arriba; hasta que vuelve a presentársenos otra dificultad análoga a la primera: encontramos un segundo tajo y su correspondiente chorro aéreo que sirve de escalón para subir al rellano más alto de la tropopausa: esta vez a unos 18.000 metros de altitud media, aproximadamente.

Al terminar nuestro imaginario viaje, llegamos a la conclusión de que la *tropopausa está rota* en dos lugares distintos. Que en estas roturas o tajos se alojan dos corrientes en chorro; las cuales se llaman (de polo a ecuador) «chorro polar», que es el que ya conocíamos bastante, y «chorro subtropical», que es el que está más cerca del ecuador. Y que la tropopausa consta de tres pisos o rellanos —casi diríamos que *hay tres tropopausas*— que están cada vez más altas conforme nos alejamos del polo. En cualquiera de los dos hemisferios el esquema es el mismo.

¿Cómo asociar esto con lo que ya sabemos? Recuerden, una vez más, que el aire frío está hundido y el aire caliente levantado. La tropopausa baja es la *tapadera* del aire polar. La de altura media, la del aire tropical, y entre ambas, por el tajo correspondiente, corre *el chorro,* separando en altura ambas masas de aire; lo que se refleja en superficie en otro viejo conocido nuestro, que habíamos llamado *el frente polar.*

Entre la tropopausa de altura media y la más elevada, está alojado el cauce del *chorro subtropical,* que se refleja en la superficie terrestre en otra perturbación, de la que también nos hemos ocupado a su debido tiempo, que es una zona tormentosa denominada *frente intertropical* o, mejor, *zona de convergencia intertropical.*

Resulta todo esto como un gran «puzzle», un enorme *rompecabezas* en el que todas sus piezas tienen que encajar. Y vean si encajan: el aire polar (frío) está hundido; su *tapadera* (la tropopausa polar) baja con él. Al hundirse ésta, se forma como un escalón, una rotura a lo ancho de la cual la temperatura varía con gran rapidez y a cuyo largo corre velocísimo el aire forman-



do el chorro polar, que llena el hueco entre las tropopausas polar y tropical. Y debajo del chorro, obedeciendo a su acción rectora, el frente polar es la frontera junto al suelo entre las masas de aire polar y tropical: *el mismo esquema, igual distribución, de arriba abajo.*

Y lo mismo ocurre con la otra rotura entre las tropopausas, tropical (de las zonas templadas) y ecuatorial (de la zona intertropical), con el chorro subtropical en altura y la zona de convergencia intertropical en las capas bajas. Esta zona es única, es decir, no hay una en cada hemisferio: los dos chorros subtropicales están bastante próximos entre sí y crean, *entre ambos*, esa perturbación o zona tormentosa en las capas bajas; la cual aparece al norte del ecuador durante el verano del hemisferio septentrional y más hacia el sur durante el invierno de dicho hemisferio.

Las piezas del «puzzle» han encajado bien; el *rompecabezas*, resuelto, nos ofrece ya un panorama inteligible y bello.

EL MAPA DE LA TROPOPAUSA

Igual que cuando hablábamos de la topografía relativa, surge aquí la pregunta: ¿La tropopausa, con sus roturas y sus chorros de viento, puede representarse en su conjunto como un mapa meteorológico más? Evidentemente sí. Y de la misma manera, además, que una superficie isobárica cualquiera, aunque

ella no lo sea. Es decir, mediante la «topografía absoluta de la tropopausa». Ésta es una superficie que hace, ya lo hemos visto, de *tapadera* de la troposfera, de *frontera del tiempo*. El que presente roturas no supone impedimento suficiente:

Si sobre un mapa y en cada lugar donde hay sondeo de la atmósfera, se pone un número que nos indique *la altitud de la tropopausa sobre el nivel del mar*, no habrá que hacer sino unir por líneas todos los puntos que tengan el mismo número, es decir, aquéllos en los que la tropopausa está igualmente alta. Dichas líneas se trazan a intervalos regulares, de 1.200 en 1.200 metros por ejemplo; y nos ofrecen un aspecto general semejante al de otra topografía cualquiera con sus valles y sus crestas. Son también líneas *isohipsas*, ya que unen puntos de igual altitud. Se toma el intervalo de 1.200 metros, porque si se le toma menor resultan las líneas demasiado juntas, para el tamaño de los mapas de trabajo.

¿Cómo se sabe la altitud de la tropopausa en esos puntos en que hay sondeo?: Una vez desarrollado éste y obtenida «la curva de estado» de la atmósfera, se observa fácilmente cuando la temperatura (más arriba de los 400 milibares y más frecuentemente entre los 300 y los 200) deja de disminuir y empieza a aumentar con la altitud. En ese momento se ha entrado en la estratosfera y la altitud del punto de separación es la de la tropopausa. A veces no está tan claro y la temperatura no aumenta al entrar en la estratosfera, pero entonces deja de seguir bajando al mismo ritmo que lo venía haciendo o bien permanece constante, al ascender el radiosonda en el seno del aire. En cualquier



caso, los meteorólogos lo distinguen perfectamente y hay reglas bien concretas establecidas para ello.

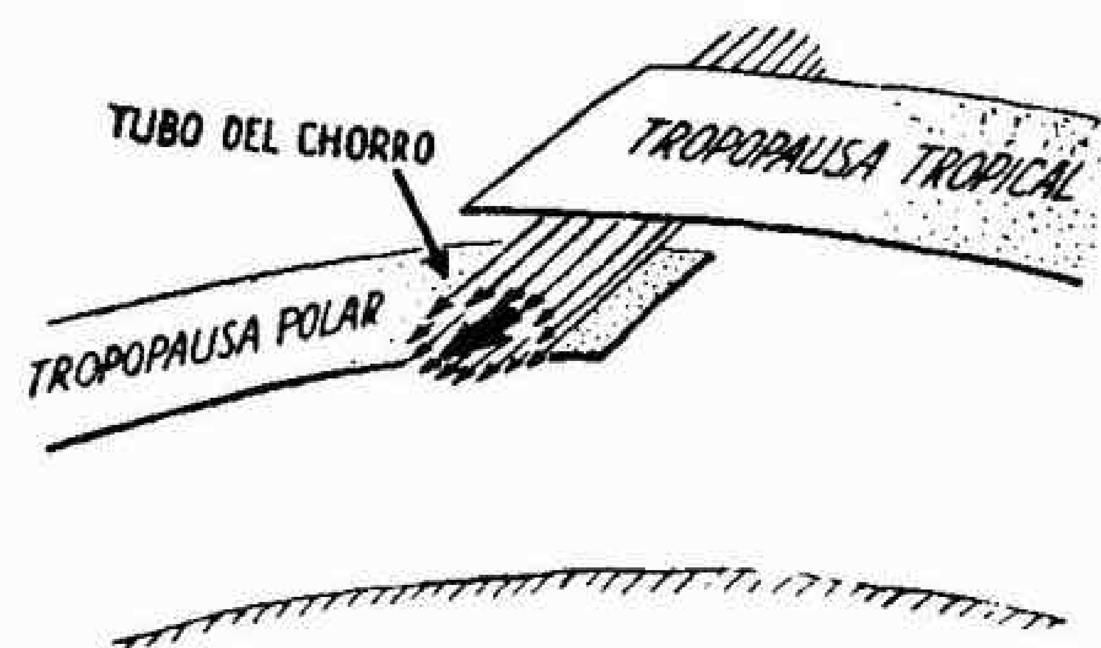
ESCALONES CON REBORDE

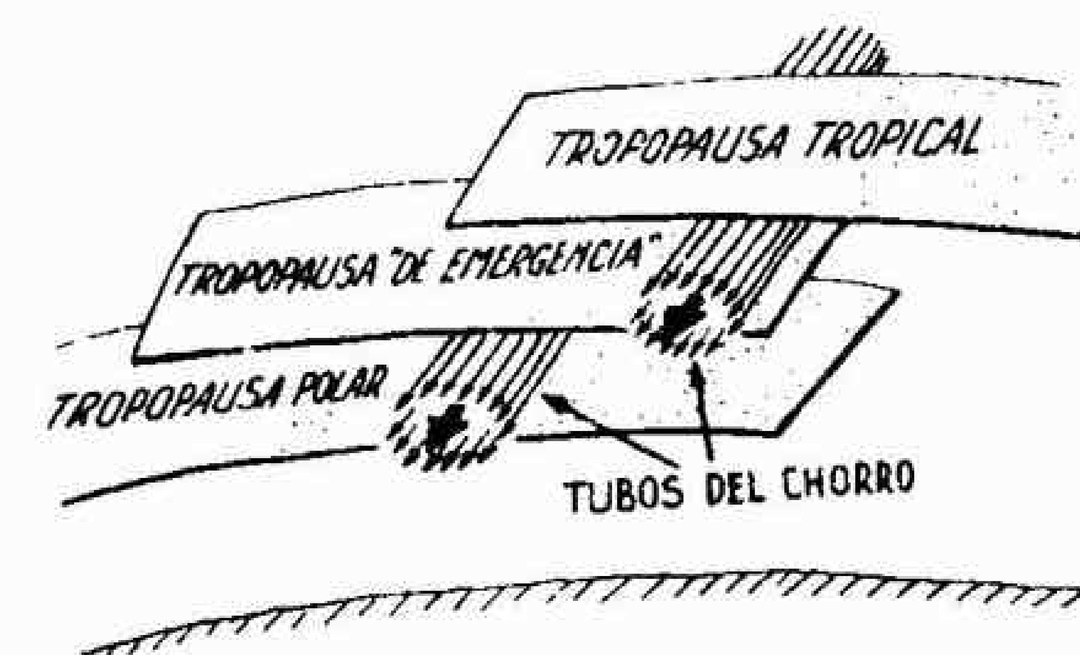
Y donde la tropopausa está rota, como ya hemos visto, ¿qué ocurre? Pues que el radiosonda en su ascensión se encuentra *dos veces* (en casos menos frecuentes *hasta tres*) con las condiciones típicas de haber pasado a la estratosfera. Entonces se anotan las dos (o las tres) altitudes en el mismo punto del mapa, una encima de otra, por orden de menor a mayor.

Quizá les parezca a ustedes raro esto de que el radiosonda, al subir, atraviese *dos o tres veces* la tropopausa. La rotura de esta superficie ya quedó explicada. Y si se fijan en la figura de la *escalera de gigantes* verán que los bordes de cada rellano no están en línea vertical, sino que tienen rebordes que, a distancia, *se solapan*.

Así se comprende bien que habrá lugares donde el radiosonda atraviese dos tropopausas.

¿Y cómo es que, a veces, aparecen tres? Esto ocurre cuando hay una diferencia de temperaturas anormalmente grande entre el aire polar, al que *tapa* la tropopausa correspondiente, y el inmediato aire cálido al que *tapa* la tropopausa tropical. Entonces el escalón sería demasiado alto y la corriente en chorro demasiado gruesa. La sabia naturaleza, cumpliendo leyes inmutables de su Creador, ha dispuesto las cosas de manera que, entonces, aparezca un pequeño escalón intermedio, un trozo de tropopausa *de emergencia* y que en vez de un chorro muy grueso sean dos más delgados.





En estos casos, pues, existen *dos chorros principales*, cada uno ligado a una tropopausa doble, que corren a poca distancia uno del otro. La zona de tropopausa triple queda entre ambos.

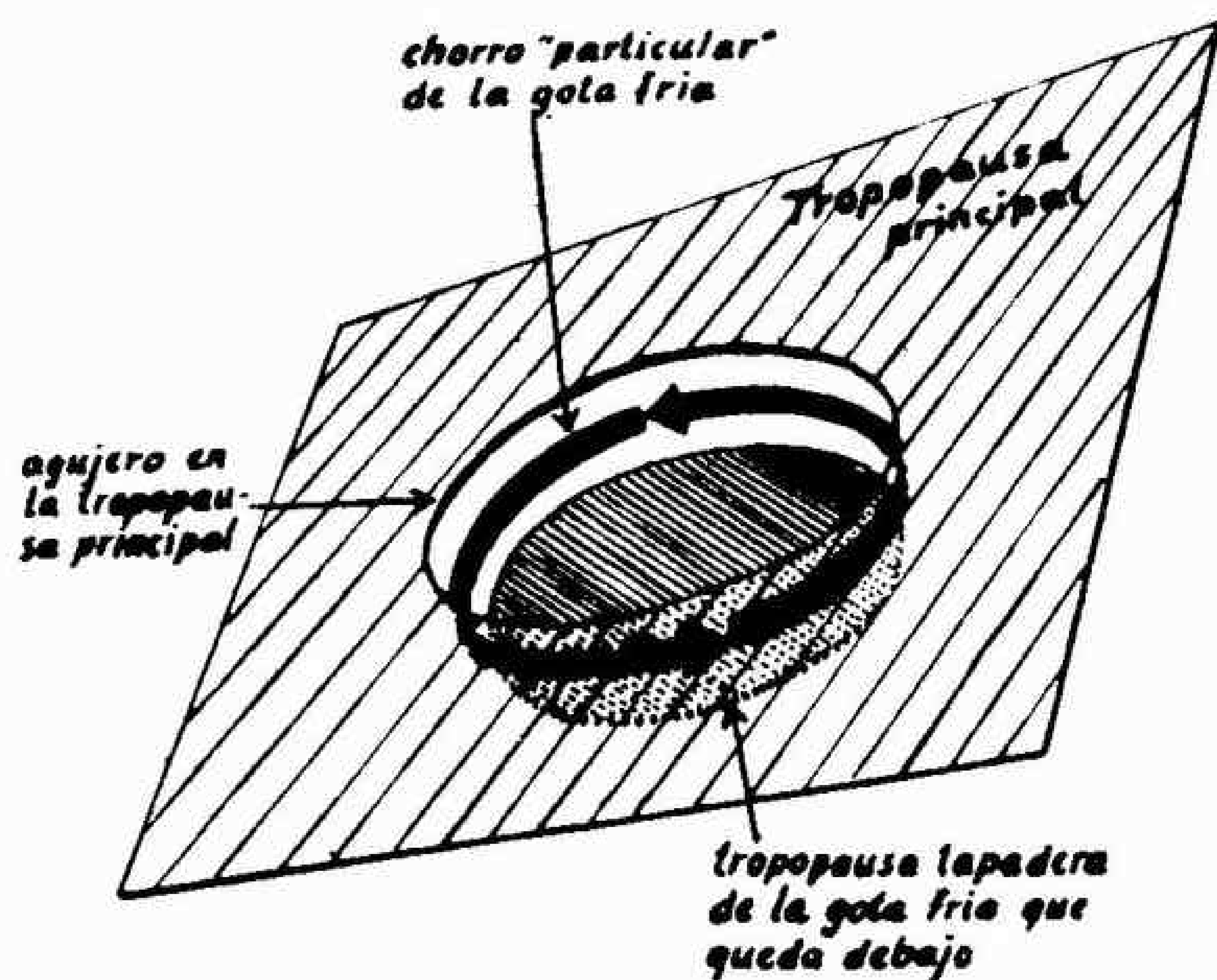
Hay que tener en cuenta que el desnivel en la zona de rotura de la tropopausa llega a ser, a veces, enorme. Cuando una borrasca se «ahonda», es decir, cuando en su parte interior está bajando más la presión atmosférica *provoca un hundimiento* de la tropopausa, como un enorme *bache*. Muchas veces ocurre esto primero y aquéllo después. Pero en cualquier caso, *por cada milibar que baja la presión en el centro de una borrasca del suelo, la tropopausa se hunde de 60 a 70 metros*. De manera que esos *baches* de la tropopausa son a veces *socavones* muy profundos. Piensen que entre el centro de una borrasca profunda, de 952 milibares, por ejemplo, en el aire polar y el borde de 1.024 milibares de un anticiclón tropical fuerte, hay 72 milibares de diferencia; lo que, a 70 metros por milibar, supone una distancia vertical entre las tropopausas polar y tropical de 5.040 metros. Y si los vientos son muy fuertes, es decir, si el centro de la borrasca queda poco lejos del borde del anticiclón, puede ser mayor aún esa distancia, alcanzándose los 6.000 metros y, a veces superándolos.

BACHES Y SOCAVONES EN LA TROPOPAUSA

Ya hemos visto cómo, en ocasiones, se producen *baches* y *socavones* en la tropopausa. Hay otro caso no citado: el de la formación de «gotas frías». Ya sabemos en qué consisten estas perturbaciones. Por causas que no vamos a repetir ahora, se ini-



cia a veces la formación de una «gota fría» muy arriba en el seno del aire. El primer síntoma apreciable suele ser un ligero *bache* en la tropopausa que, si la «gota» es fuerte, pronto se convierte en un *socavón*. Éstos son, en ocasiones, tan hondos y ocupan un área tan relativamente pequeña, que la tropopausa se rompe, *como si la cortasen un trozo casi circular* cuyo tamaño corresponde aproximadamente al de la extensión de la gota fría



(en realidad es ligeramente más pequeño, porque la gota se dilata en seguida). En estos casos aparece el correspondiente *chorro* circundando la gota fría y sirviendo de escalón entre la *tropopausa-tapadera* de la gota fría y los bordes del agujero surgido en la tropopausa principal. Recuerden que antes hemos hablado de *chorros principales*; es porque también los hay secundarios o «regionales», como técnicamente se llaman. El que rodea a la gota fría suele ser uno de estos últimos, desligado de los principales. En algunas ocasiones la rotura circular no es completa y la *tropopausa-tapadera* de la gota fría queda unida en un trozo a la tropopausa principal, como si fuese una especie de válvula; en estos casos el chorro regional o chorro *particular* de la gota fría no la circunda por completo, sino que la *abraza* en parte.

¿SIRVEN PARA ALGO?

¡Ya lo creo que sí! Los mapas de topografía de la tropopausa tienen verdadera importancia. Muchas «gotas frías» se denuncian, en sus comienzos, allí antes que en ningún otro nivel como un pequeño hundimiento, un bache como antes hemos dicho, de esa superficie. La «corriente en chorro» tiene su *eje* o *corazón* a la altura de la tropopausa. Para los modernos aviones a reacción, en los que la temperatura del aire juega un papel importantísimo, para la buena marcha de las turbinas y para la economía del combustible (del que depende su autonomía de vuelo), es indispensable conocer exactamente la altura de la tropopausa en todo el viaje que va a realizarse: una vez encima de la tropopausa, la temperatura varía muy poco y no es necesario afinar tanto en el nivel de vuelo; además, estando continuamente por encima de esa superficie, se está siempre en la estratosfera, donde quedan «fuera del tiempo». Como en la zona de rotura de la tropopausa, o lo que es igual en las inmediaciones de la corriente en chorro, ya vimos que las temperaturas varían muy rápidamente, pueden acercarse o huir del eje de dicha corriente, según les convenga, sin más que mirar cómo varían las temperaturas en los termómetros exteriores del aeroplano al desplazarse a un lado u otro.

La relación de hechos prácticos que prueban la utilidad real de un mapa, bien hecho, de la tropopausa sería muy larga.

UNA IMAGEN DE LA VERDAD

Hemos llegado a la conclusión, en el capítulo anterior, de que la topografía relativa es el *mapa de la verdad*. Pues bien, *el aspecto o configuración de un mapa de topografía de la tropopausa suele ser muy parecido al de la topografía relativa*. Sobre todo en donde la tropopausa está claramente levantada o claramente hundida, es decir, *donde más interesa*. Desde este punto de vista, el mapa de topografía de la tropopausa es una buena *imagen de la verdad* en cuanto a la clase de aire que tiene debajo. Además, en estos mapas se ven, como en ningún otro, las corrientes en chorro, fenómeno sobre cuya importancia en la predicción del tiempo no vamos a insistir.

Las *líneas de rotura* de la tropopausa se localizan en estos mapas uniendo, con lápiz de color llamativo, los puntos en que los sondeos denunciaron dos o tres altitudes de la tropopausa, de manera que queden en una de estas líneas especiales (en la misma) todos los puntos de rotura que tengan la misma altitud. Naturalmente, por cada uno de estos puntos de la zona de rotura pasan dos o tres líneas isohipsas (cosa que no podía ocurrir en las topografías corrientes de las superficies isobaras de 500, de 700 milibares, etc.), ya que en esos lugares la tropopausa está a dos o tres altitudes distintas sobre el nivel del mar. Entre cada dos de estas líneas de rotura corre el chorro. De modo que si hay tres de esas líneas (doble rotura de la tropopausa) circulan dos chorros principales relativamente próximos el uno al otro. Estos chorros dobles suelen provenir de otro único, que aparece en los mapas como bifurcado. En ocasiones los dos chorros vuelven a confluir formando uno solo.

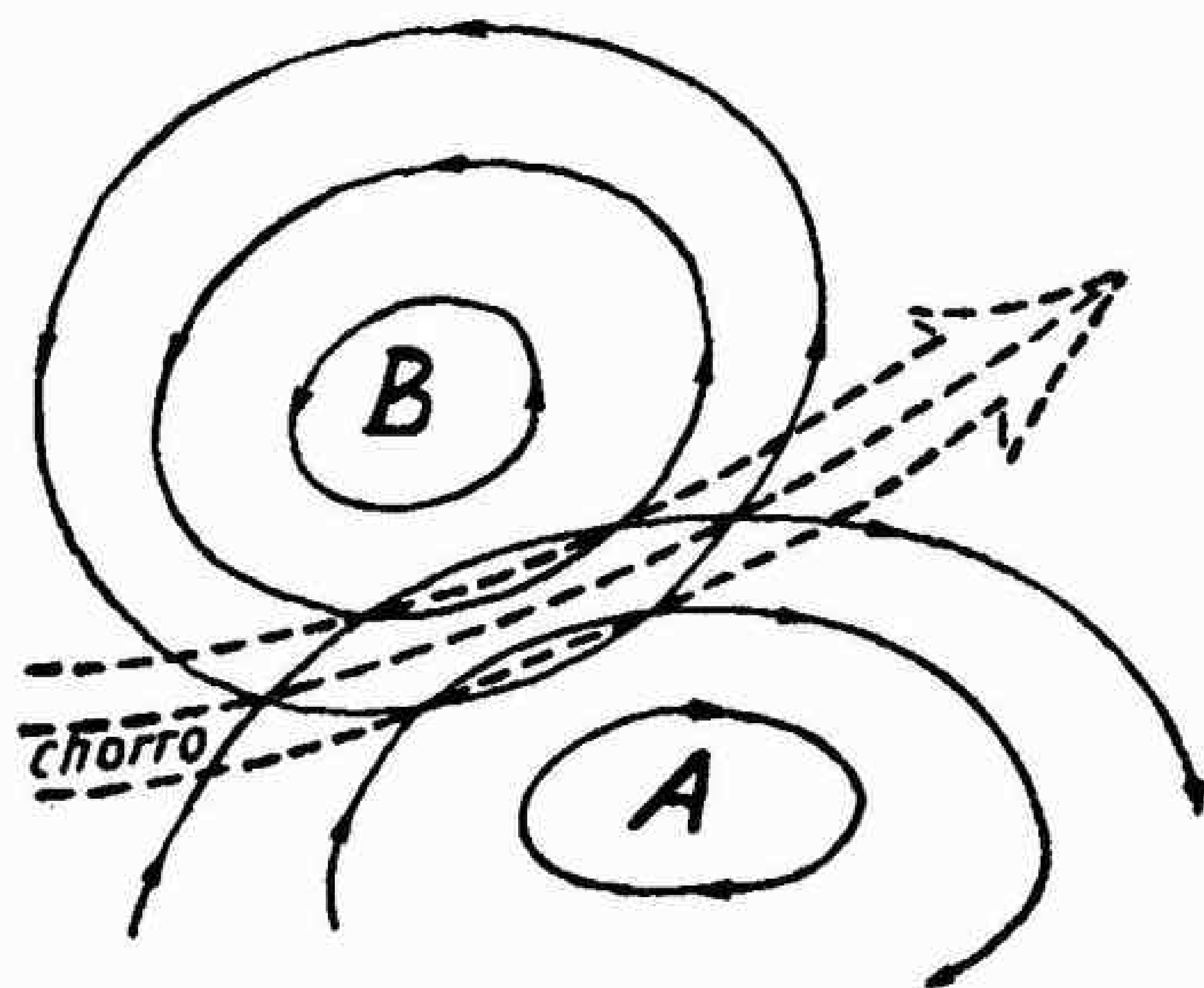




DOS MAPAS DE TROPOPAUSA

Es de advertir que *la tropopausa no es una superficie isobárica*, es decir, la presión no es la misma en todos sus puntos. Esto es tan verdad que *hay dos maneras de trazar un mapa de la tropopausa*. Una de ellas es la antes descrita, es decir, trazando «isohipsas» o líneas que unen puntos en los que la tropopausa tiene la misma altitud. Este mapa es, como ya se ha repetido, *una topografía* absoluta *de la tropopausa*. La otra manera consiste en *trazar líneas isobaras* sobre la superficie de la tropopausa, igual que se hace para construir los mapas del tiempo corrientes sobre la superficie de la Tierra.

Tengan en cuenta que el radiosondeo de la atmósfera da la presión, la temperatura y la humedad del aire, según asciende en su seno; de estos tres valores se deduce la altitud correspondiente. De manera que al cruzar la tropopausa para pasar a la estratosfera, no sólo sabemos la altitud de este punto, sino también otros datos, entre ellos *la presión*. Si en un mapa ponemos, para cada lugar en que hay sondeo, la presión atmosférica al nivel de la tropopausa (en vez de poner la altitud), podremos después trazar *líneas isobaras* y obtener un *mapa de la tropopausa*, que no es una topografía. En este mapa aparecen borrascas y anticiclones que *suelen* coincidir bastante con las regiones de tropopausa baja y tropopausa alta, respectivamente, que nos aparecerían si en vez de isobaras trazásemos isohipsas. Estos mapas de isobaras tienen la ventaja de que el viento se adapta perfectamente a las líneas y puede calcularse correctamente su velocidad por el grado de separación de las mismas. Ambas formas de representar la tropopausa son útiles, cada una en su estilo. Suelen presentar un aspecto muy similar, y cuando hay diferencias sensibles de uno a otro en la distribución de borrascas



y anticiclones, el especialista obtiene de ello consecuencias importantes.

Lo que más llama la atención en los mapas de isobaras de la tropopausa es que hay zonas en que el borde de una borrasca *se mete* dentro del borde de un anticiclón, cosa que no podía ocurrir en un mapa del tiempo corriente, al nivel del mar. En la tropopausa sí, porque donde está rota *hay dos o tres tropopausas* a distintas alturas y, por tanto, *a distinta presión,* que corresponden a los mismos puntos del mapa. De forma que habrá puntos con dos o tres presiones distintas; una más baja, otra más alta y otra intermedia que no suele ponerse en este caso.

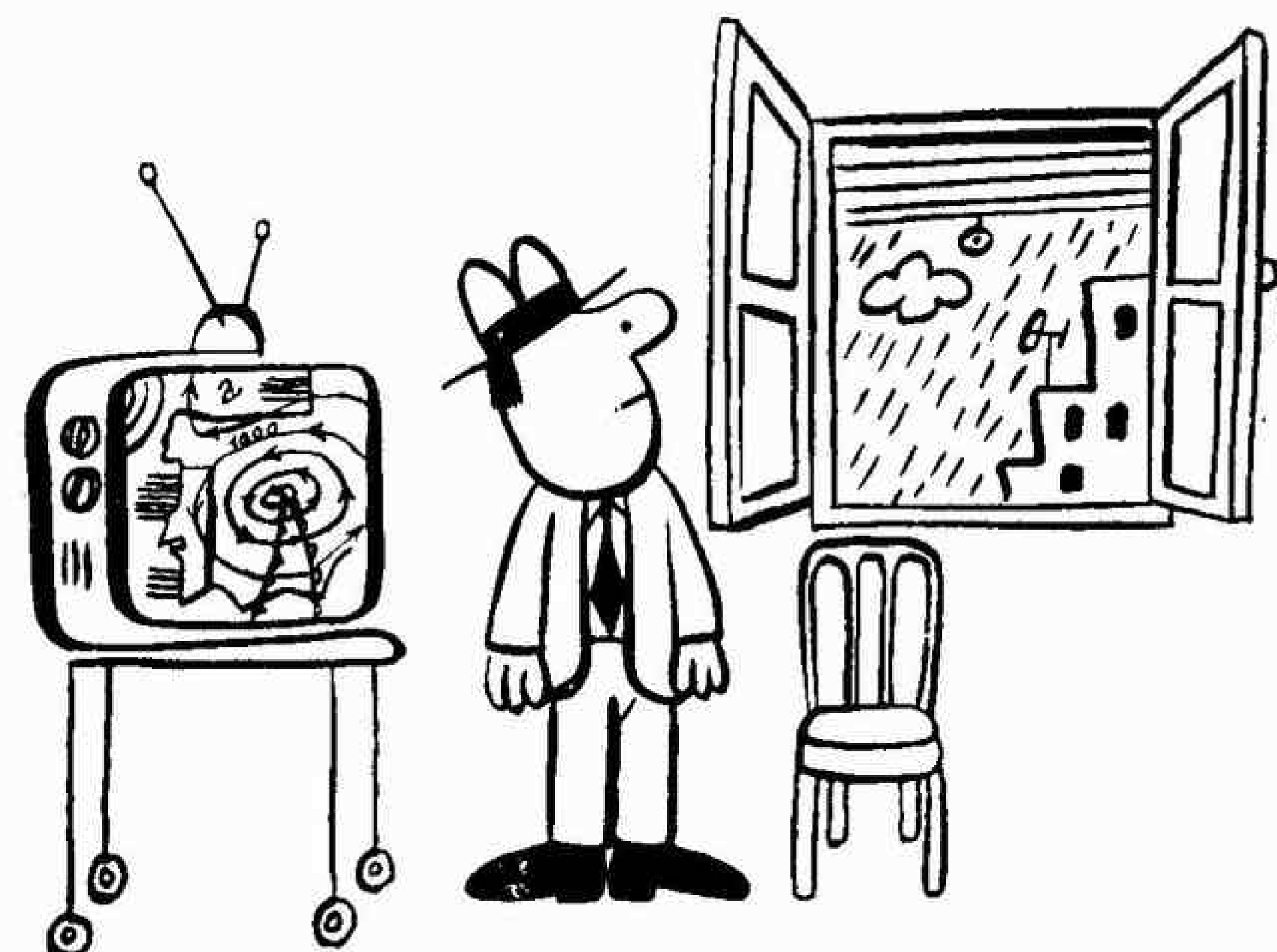
Por los puntos de intersección de las isobaras que se cortan pasa el tubo de la corriente en chorro.

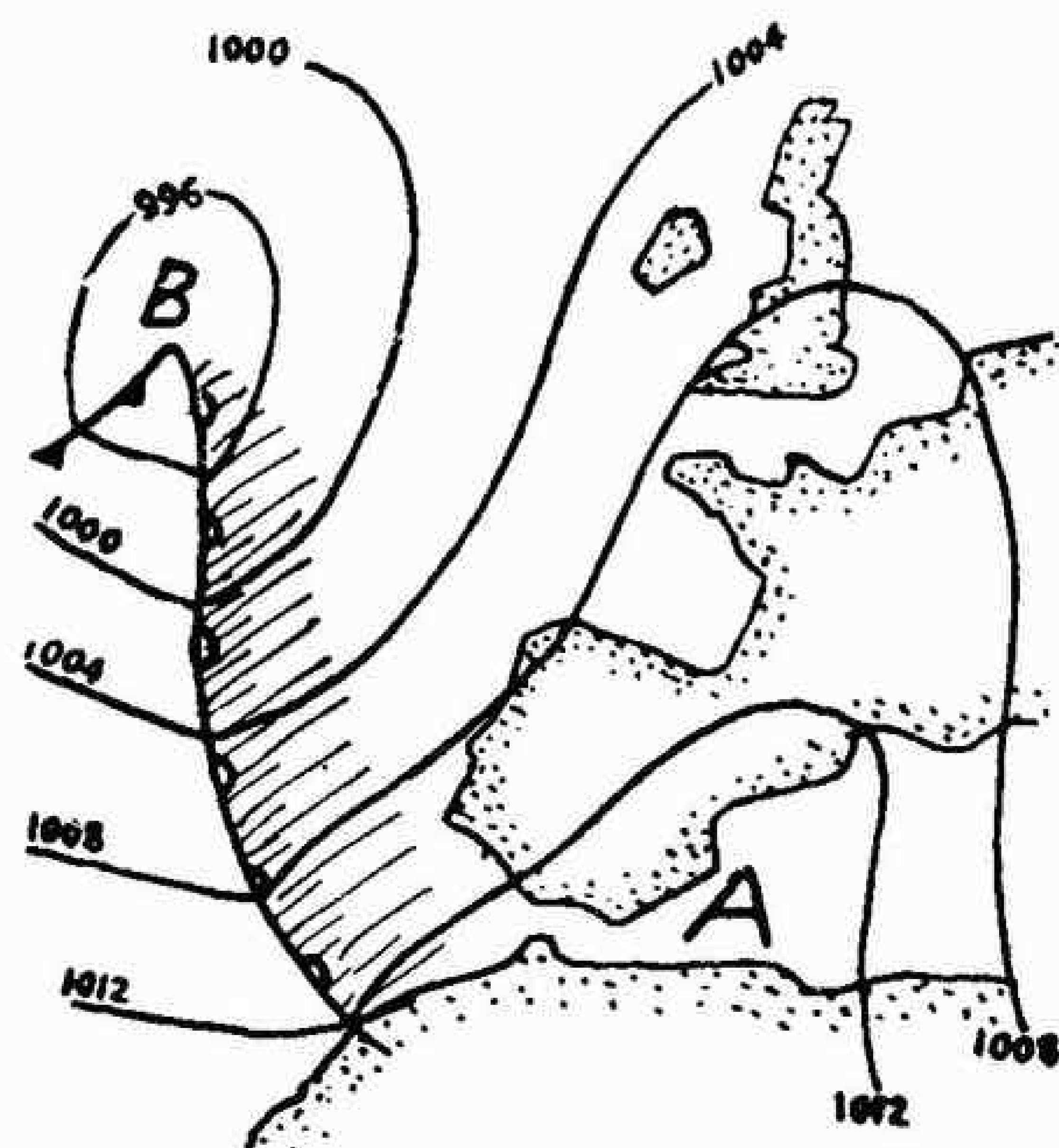
Para terminar, les diré que la tropopausa llega a ser tan realmente *frontera* entre dos atmósferas tan distintas, que los frentes cálidos y fríos *cambian de tipo al atravesarla:* el cálido se convierte en frío, y viceversa, aunque ya en la estratosfera estos frentes son sólo una abstracción teórica, pues no producen nubosidad ni ninguno de los fenómenos que originan en la troposfera.

CAPÍTULO VIII

LA CARA VISIBLE DEL TIEMPO

Todo lo que hemos visto, hasta ahora, es la realidad misma, o al menos lo que sabemos de ella. Hemos tenido, sin embargo, que hacer frecuente uso de la imaginación para poder seguir los razonamientos. Y comprendo que quizá les parezca un tanto abstracto, un tanto teórico, mucho de lo que va dicho. Porque no son cosas que podamos ver y palpar en su mayor parte, sino fruto del razonamiento lógico y de la investigación científica. Claro que la capacidad de razonar y deducir es lo que nos diferencia de los demás animales. De todas formas ya va siendo

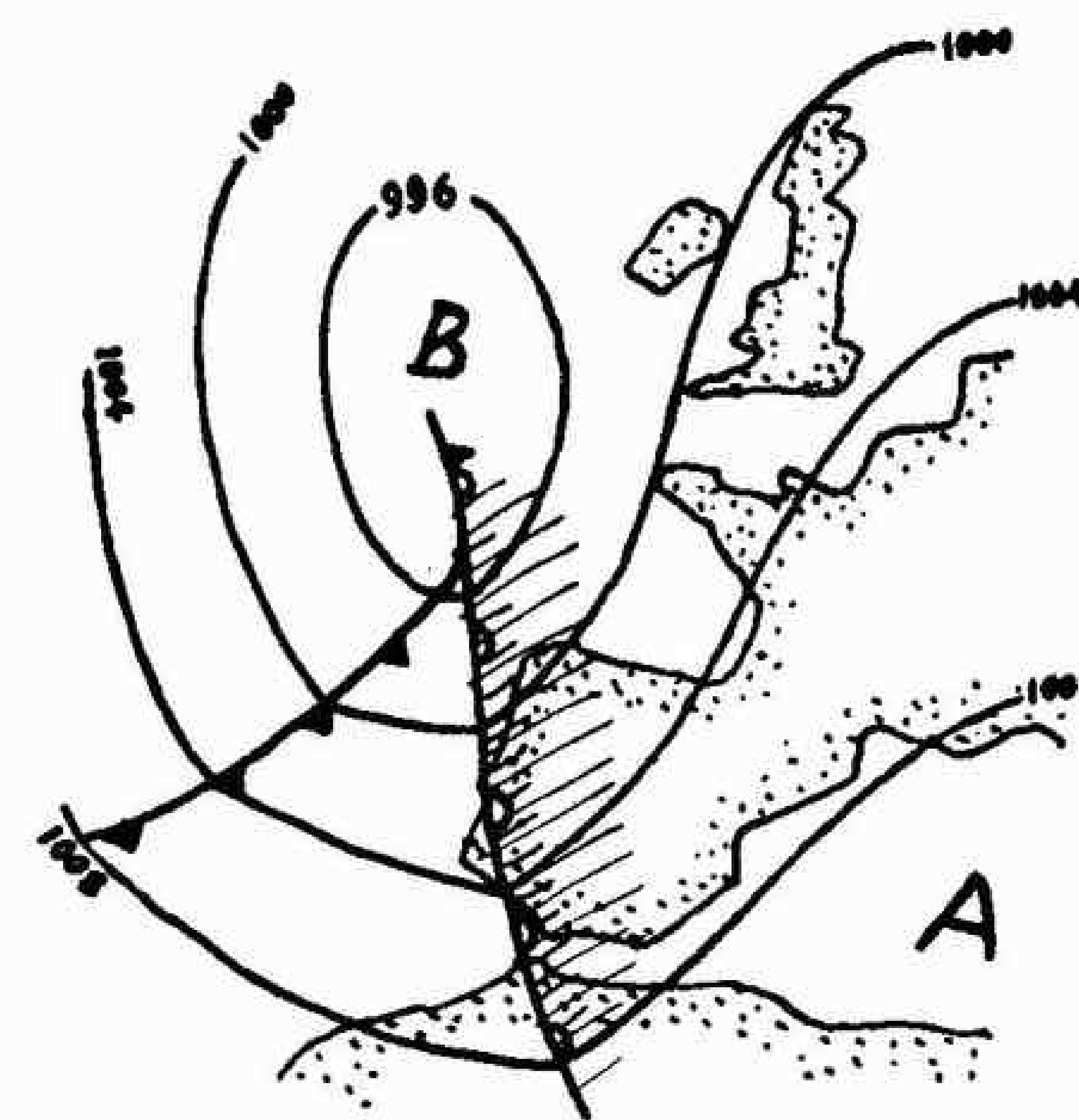




hora de que comparemos un poco lo que se ve en los mapas del tiempo con lo que observamos en la realidad cotidiana, con lo que notamos con nuestros sentidos físicos.

Para ello, nada mejor que un ejemplo fácil: usted se encuentra ante la pantalla de televisión a la hora en que aparece el mapa del tiempo. Supongamos que éste es el de la figura. En él se ve una cuña o dorsal anticiclónica sobre la mayor parte de España y Centroeuropa que, como ya sabemos, debe producir un tiempo predominantemente bueno. Y usted, que está en Toledo, o en Soria, o en Burgos, por ejemplo, comprueba, asomándose a la ventana, que la experiencia confirma la teoría: la noche es clara, serena, con el cielo cuajado de estrellas. La B que hay al noroeste de España nos pone sobre aviso: es una borrasca con sus frentes cálido y frío y ya sabemos que suelen viajar hacia el este, es decir, acercándose a la península Ibérica.

Al día siguiente ve usted otro mapa posterior: la B está ya mucho más cerca; le dicen que hay lluvias sobre Portugal y en el noroeste español, y usted sospecha —y sospecha bien— que se deben al frente cálido que está entrando por el oeste. El cielo empieza a estar nublado en más de la mitad occidental de España y, por la noche, un velo lechoso cubre las estrellas y un *cerco* muy característico rodea la semioculta Luna. Al día siguiente, si usted madruga, puede comprobar que las nubes son



ya grises y cubren totalmente el cielo. Sin necesidad de mapas, *olemos* que la lluvia está cerca. Si usted ha seguido la marcha del barómetro notará que desciende continuamente, y si tiene viejas cicatrices o los clásicos *juanetes* notará una molestia *sui géneris* que le hace pensar en que la lluvia está cerca. A media mañana, o lo más tardar al mediodía, comienza una llovizna que se hace pertinaz y acaba por convertirse en lluvia persistente: es el frente cálido que está encima. Luego empieza a mejorar despacio y con alternativas; la atmósfera se pone algo turbia; los claros y las nubes acaban por repartirse el cielo; la temperatura ha subido apreciablemente y ya sólo es posible que algún chaparrón ligero y ocasional surja pasajeramente.

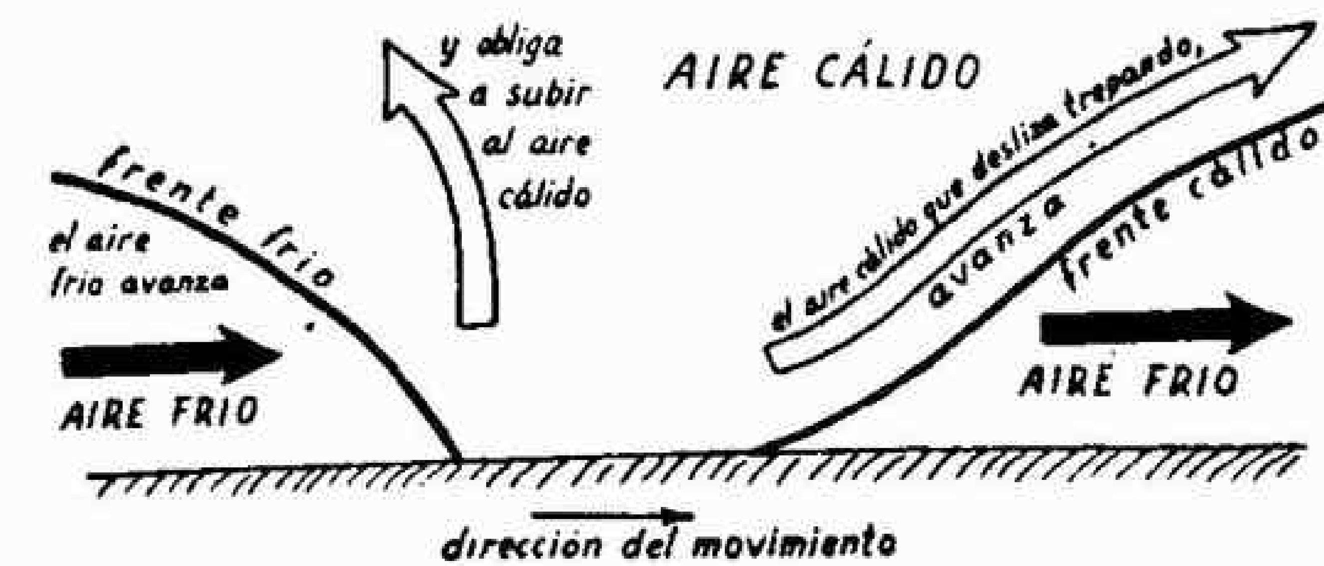
Sin embargo, no ha acabado todo. Al cabo de unas horas (pocas o muchas, según lo lejos que quede el frente frío): las nubes aumentan de nuevo tomando un aspecto plomizo, negruzco, feo. ¡La que va a caer!, dice la gente al notar la súbita oscuridad. Hay ráfagas de viento y hasta podemos ver, en ciertas ocasiones, brillar la culebrilla de algún relámpago. De pronto, rompe un aguacero: grandes goterones azotan el suelo y las paredes de las calles, quizá con violencia. Al chocar con los cristales creemos percibir el ruido del granizo mezclado con la lluvia. El aguacero termina pronto. Sin embargo, vuelve a comenzar otro. Y otro, tal vez. Pero ya se ven claros en el cielo. El



viento sopla fuerte y racheado del noroeste. Y si mira un barómetro verá que empieza a subir. Más claros en el cielo; algún otro chubasco ya más ligero. La atmósfera se vuelve limpia y transparente. La tempestad se aleja. ¿La tempestad? ¡No! Es el frente frío de la borrasca, que acaba de pasar.

FRENTES, NUBES, LLUVIA

Acabamos de *palpar* los efectos de esas líneas, más o menos complicadas, del mapa del tiempo, que llamamos frentes. Ya sabemos bastante aproximadamente lo que nos espera, si llegan a nosotros, al ver sus barriguitas o sus dientes puntiagudos en la televisión. Ya no son tan abstractas. Porque un frente lo *vemos* en sus efectos. De modo que para la mayor parte de las personas un frente es nubosidad y es lluvia.



Tanto si es frente cálido como si es frente frío, el aire polar está debajo, pegado al suelo, como una cuña sobre la que se desliza, trepando, el aire tropical más caliente. Y siempre que el aire sube, se acaba condensando el vapor de agua que contiene, pues se va expandiendo en su ascensión y, por ello, enfriándose, como razonaremos más hacia el final del capítulo. La condensación equivale a formarse nubosidad, y de ésta siempre *puede* surgir lluvia.

En el caso del frente cálido, es el aire tropical el que avanza, empujando a la cuña de aire frío que tiene delante y deslizándose al mismo tiempo por encima de ella. En el caso del frente frío, el que avanza es el aire polar, pero el que sube es el aire tropical, como antes. La diferencia es que ahora sube obligado, empujado, desalojado. De subir espontáneamente y con suavidad a hacerlo obligado y violentamente hay bastante diferencia. Es como entre el pago espontáneo de la contribución y el pago de la misma por un moroso contra el que tiene que intervenir la autoridad. En el primer caso todo transcurre normalmente, tranquilamente: es algo que tiene que suceder y que sucede sin violencias. En el segundo caso, lo que tiene que ocurrir ocurre también, pero por la fuerza y en forma más bronca y dispendiosa. Esta diferencia, en el caso de los frentes, la notamos a simple vista por la forma de las nubes y por el carácter de la precipitación.

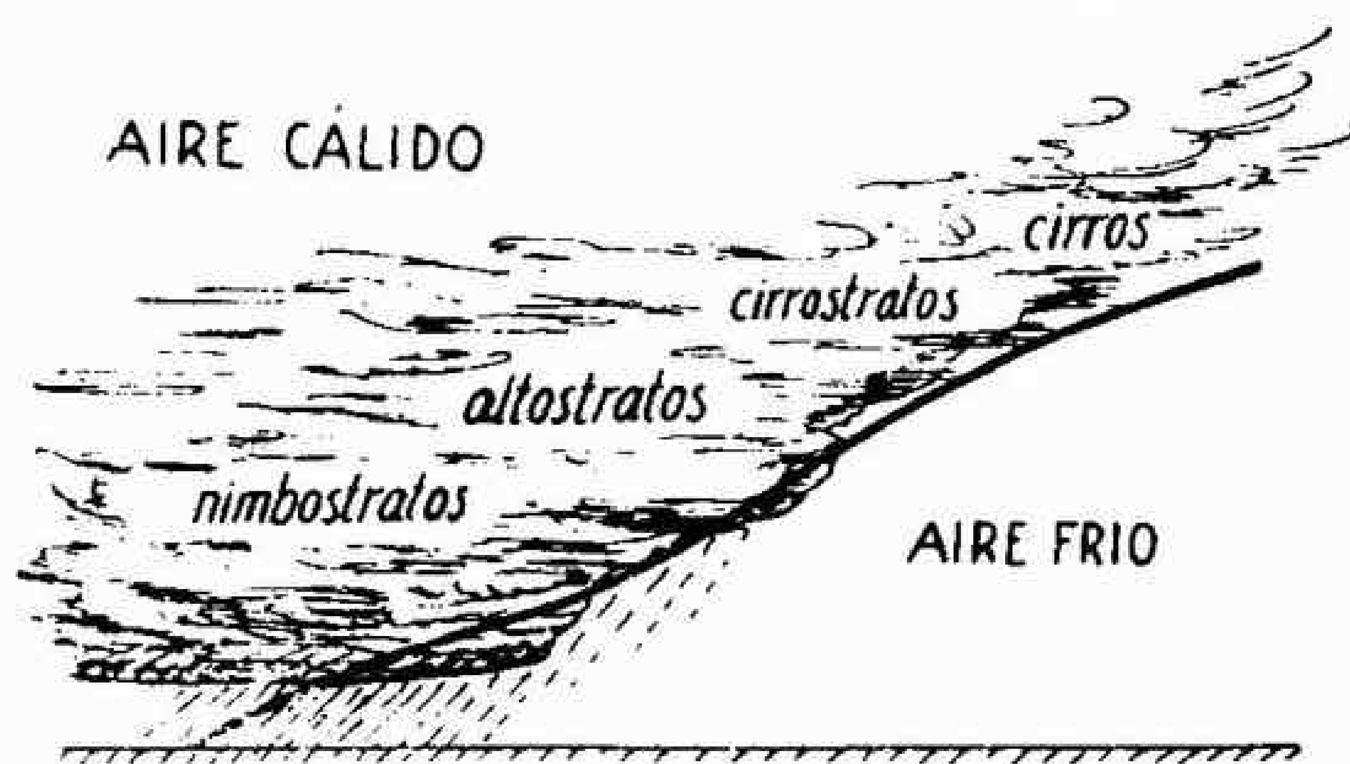
LA PELÍCULA DE UN FRENTE CÁLIDO

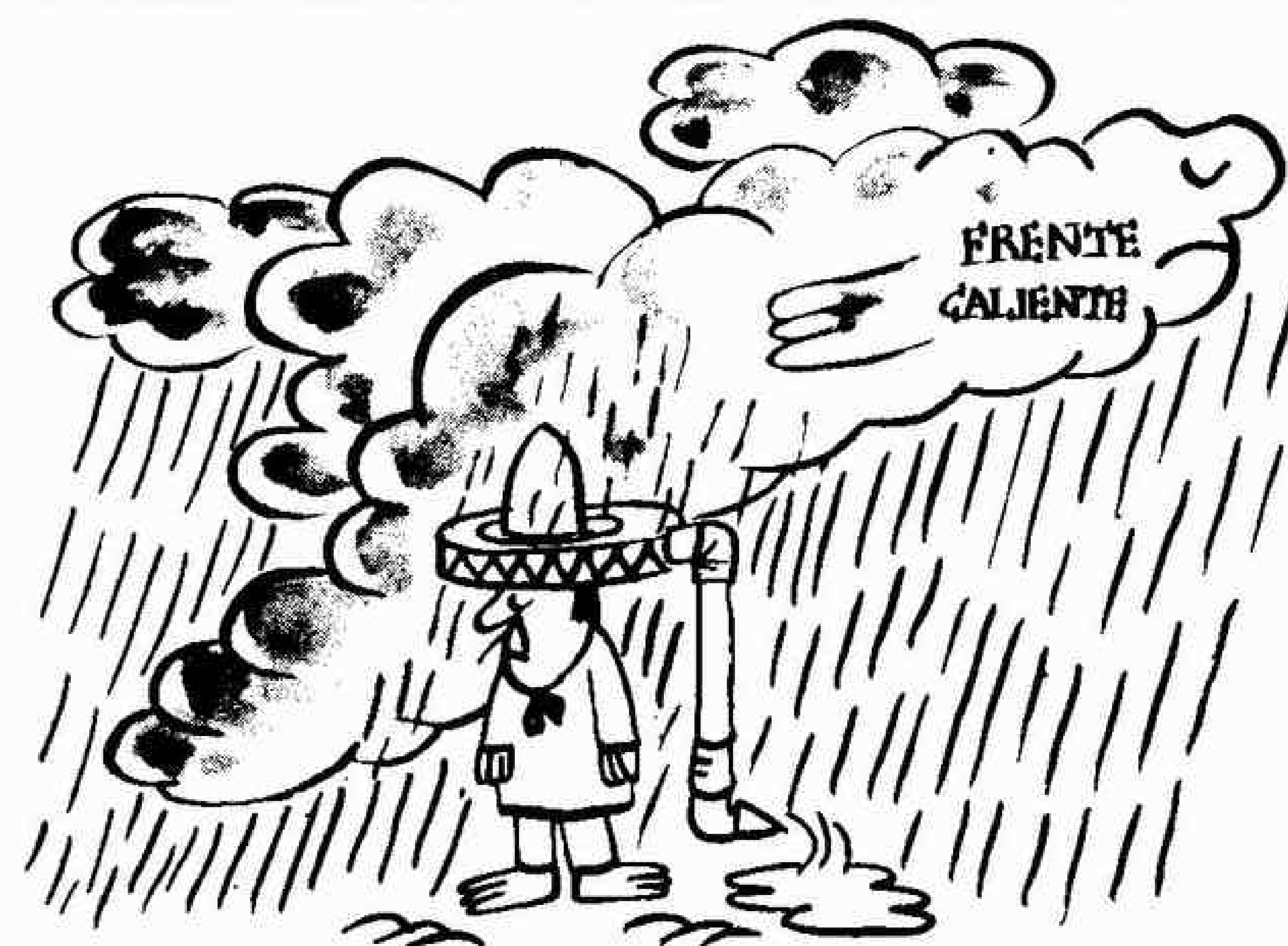
En el ejemplo concreto que les contaba antes, recordarán que hablaba sucesivamente de un velo lechoso, que pasaba a ser de nubes translúcidas, cubriendo el cielo y acabando en

nubes grises con lluvia. El velo lechoso está bastante alto: empieza a unos 6.000 metros de altitud y acaba alrededor de los 3.000, espesándose continuamente. Después y sin solución de continuidad, las nubes siguen apareciendo cada vez más bajas hasta que comienza la lluvia. De todo ello es lógico que saquemos la consecuencia, o al menos la impresión, de que un frente cálido aparece a la vista como una enorme nube de base inclinada, que se acerca a nosotros como si descansase sobre una rampa. Ustedes saben que esa rampa existe: es la cuña de aire frío junto al suelo, sobre la que sube deslizándose el aire caliente. Observen que *la nube no se desliza* por la rampa; *es el aire el que lo hace*. Por eso la nube no se deshace, a pesar del agua que suelta en forma de lluvia. La nube *se está formando y deshaciendo sin cesar*, pero eso nosotros no lo notamos. Sin embargo, en cuanto por cualquier motivo cesara el ascenso, la subida del aire, la nube se iría desmoronando hasta desaparecer. Es como el chorro de agua que surge por un grifo: si lo hace de una manera absolutamente regular, un niño podría pensar que es que el chorro *está allí*, como si fuese un trozo de hielo o de vidrio; pero todos los demás sabemos que si cierran la llave de paso general de la finca, el chorro del grifo sólo durará unos segundos más.

Si dispusiéramos de una cámara tomavistas a propósito y sacásemos la película del cielo al aproximarse un frente cálido, podríamos obtener, más o menos, el siguiente filme:

— Hora H: unos penachos de nubes blanquísimas a gran altura (6.000 ó 7.000 metros). Son los *cirros*, una especie de plu-





mas que se abren, a veces, como las hojas de una palmera y que en ocasiones parecen colas de gato de angora; están formadas por cristalitos de hielo, que caen hasta sublimarse y desaparecer; la trayectoria que siguen les da esa forma como de largas uñas. Son las «nubes altas».

— Un par de horas después, a veces más: los *cirros* se han espesado y forman el velo blanquecino de que les hablaba antes. Muchas veces, a su través, se ve el Sol (es cuando se dice que el Sol *pasa por colador*, que no está *por lo claro*). Alrededor del astro-rey se forma el clásico *halo*, y si es de noche, la Luna presenta un *cerco* muy característico. Este velo está también formado por cristales de hielo y es una nube llamada *cirrostrato*. Siguen siendo «nubes altas».

— Más tarde: los *cirrostratos* bajan de nivel. Ahora son grises y dan al cielo un aspecto que empieza siendo translúcido y acaba en opaco bastante uniforme. Se trata de los *altostratos*, que están formados ya de gotitas de agua y que se encuentran entre 3.000 y 2.000 metros de altitud: son las «nubes medias», de las que pueden desprenderse lloviznas.

— Por fin: conforme se aproxima el frente, las nubes bajan cada vez más. Ahora son *nimbostratos* de aspecto gris-plomizo uniforme, sobre cuyo fondo dominante se observan brochazos más oscuros y más bajos que se mueven bajo el toldo gris. Estas

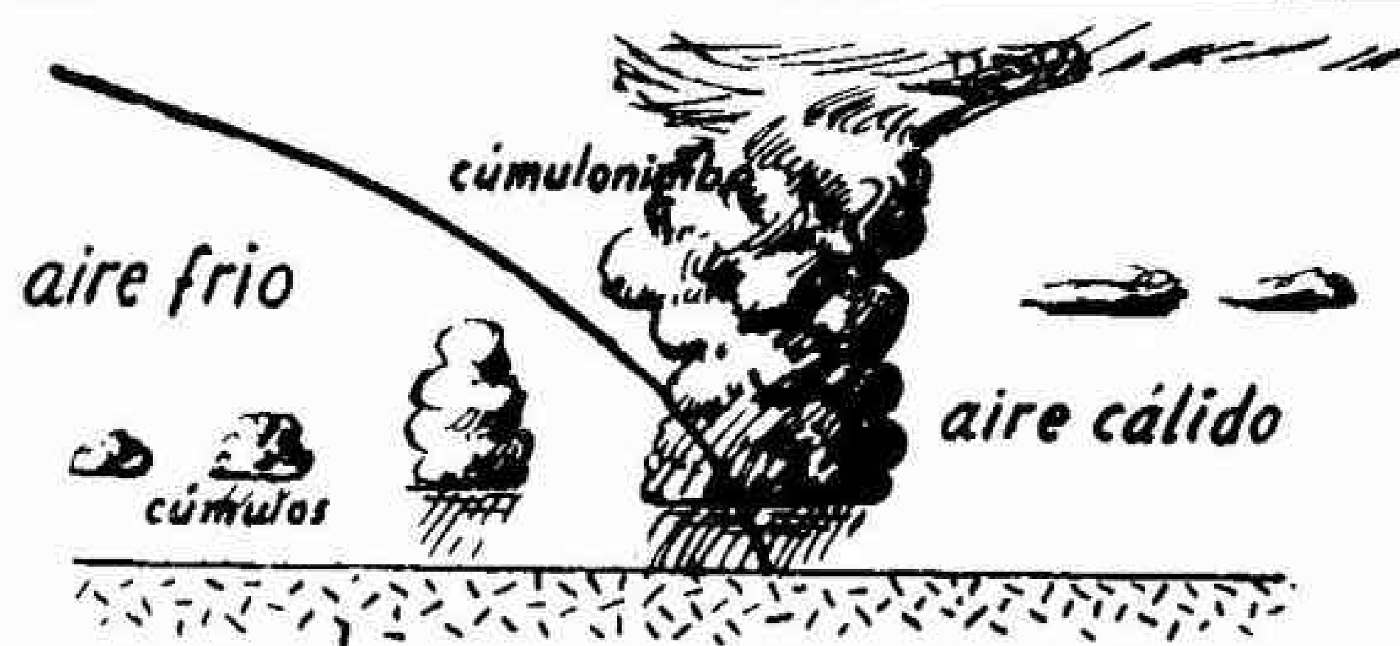
últimas nubes son como jirones arrastrados por el viento: son los *fractostratos*. El conjunto es el de inconfundibles nubes de lluvia. Suelen estar muy bajas y con ellas comienza la precipitación más pertinaz. El frente está ya encima de nosotros. Las «nubes bajas» suelen tener sus bases entre el suelo y los 1.000 metros.

Noten que casi toda la nubosidad que acompaña y precede al frente cálido tiene nombres acabados en la palabra *estrato*. Ello indica que está estratificada, en forma de capas, sin protuberancias verticales. Es porque el aire caliente, al avanzar, sube la rampa en forma espontánea, suave, continua, uniformemente y sin violencias. Y también la lluvia suele caer despacio, continua y mansamente, empapando el suelo y sin llegar a formar riadas.

Y ASÍ ES UN FRENTE FRÍO

Cuando se acerca un frente frío las cosas son bastante diferentes. La *película* de su llegada es, además, más corta. Un frente frío corre más que uno cálido. Y su zona de nubes es más estrecha. Por todo ello y hablando en términos generales, bastarán unas tres horas, como máximo, para *proyectarles* la llegada de uno de estos frentes, desde que se observan las primeras nubes. Veríamos, más o menos, lo siguiente:

— Hora H: aparece a lo lejos un murallón de nubes con elevados torreones blancos: son los *grandes cúmulos*, nubes de gran desarrollo vertical. En ocasiones se mezclan con *cumulonimbos*, cuyas cimas pueden llegar a 10.000 metros. A medida



que se van acercando, su color gris se hace progresivamente más oscuro.

— Una hora más tarde, más o menos: el murallón de nubes está casi encima de nosotros (si no hay por medio una cordillera que lo retrase); como vamos quedando debajo de esos grandes cúmulos y cumulonimbos, el cielo va oscureciéndose hasta tomar un color negruzco. El viento se hace fuertemente racheado. Caen chubascos o granizadas intermitentes; puede que fuertes aguaceros. A veces relampaguea y truena.

— Una hora o dos después: se han abierto claros en el cielo, que cada vez van siendo más grandes. Las nubes con aspecto de coliflor llamadas *cúmulos* son cada vez más espaciadas. El cielo acaba por ponerse azul casi por completo; el frente ha pasado; la temperatura ha disminuido; el viento queda algo racheado, pero amainando; la atmósfera se vuelve limpia y transparente, con una excelente visibilidad.

La película muestra fenómenos violentos: chubascos, granizo, tormentas, incluso. Las nubes no son de tipo *estrato* sino de tipo *cúmulo*, es decir, con protuberancias y desarrollo verticales. Es que, aquí, el aire caliente sube empujado con violencia por la cuña fría que avanza deprisa, pegada al suelo, impeliéndole de abajo arriba, como un toro cuando voltea a un torero.

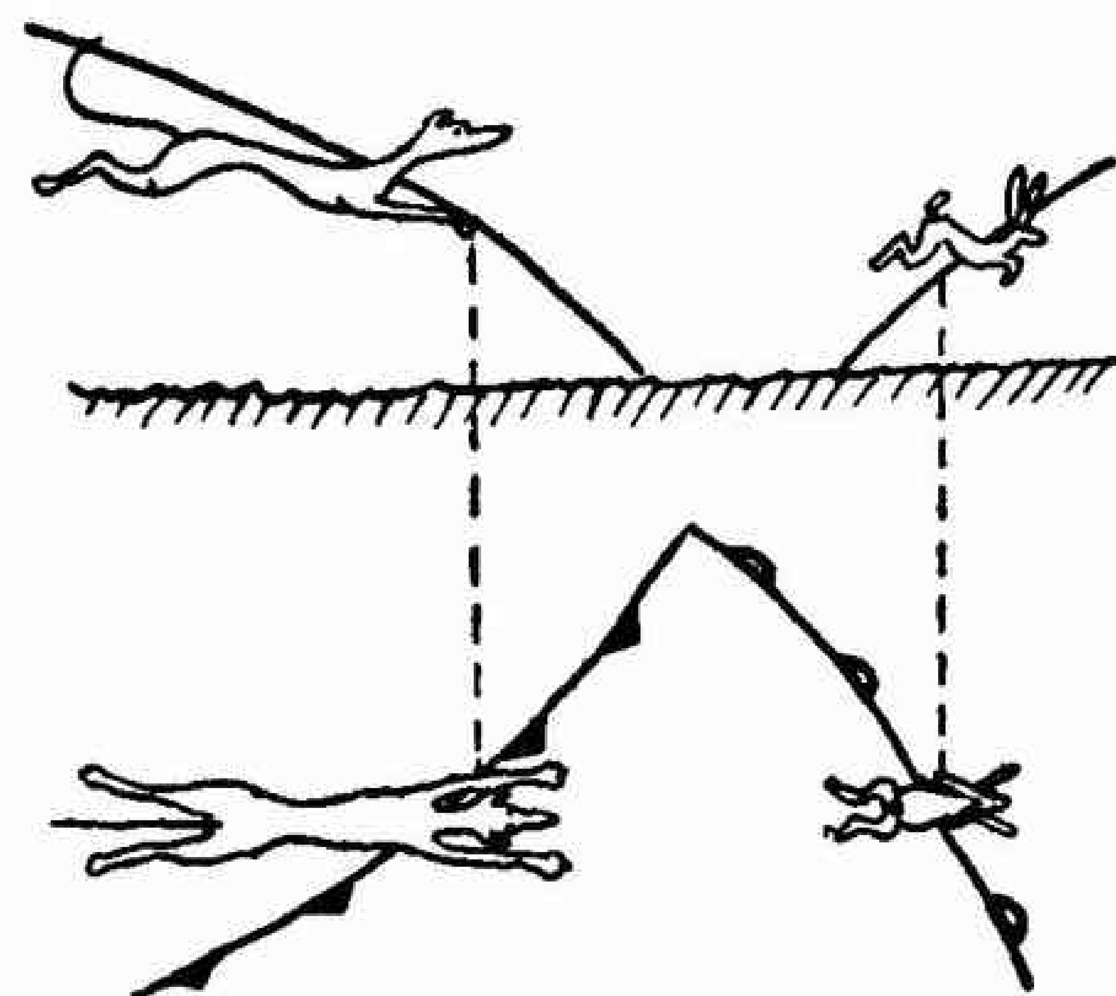
Ya saben, pues, lo que es lógico esperar si en el mapa del tiempo ven una línea dentada, que se dirige hacia nosotros y de la que les digan que tiene actividad.

EL GALGO Y LA LIEBRE

Más de una vez se ha dicho ya, en este libro, que un *frente ocluido* u *oclusión* es lo que resulta cuando un frente frío, más veloz que el cálido, alcanza a éste. La pregunta inmediata es: ¿Qué nubes aparecerán en este caso?

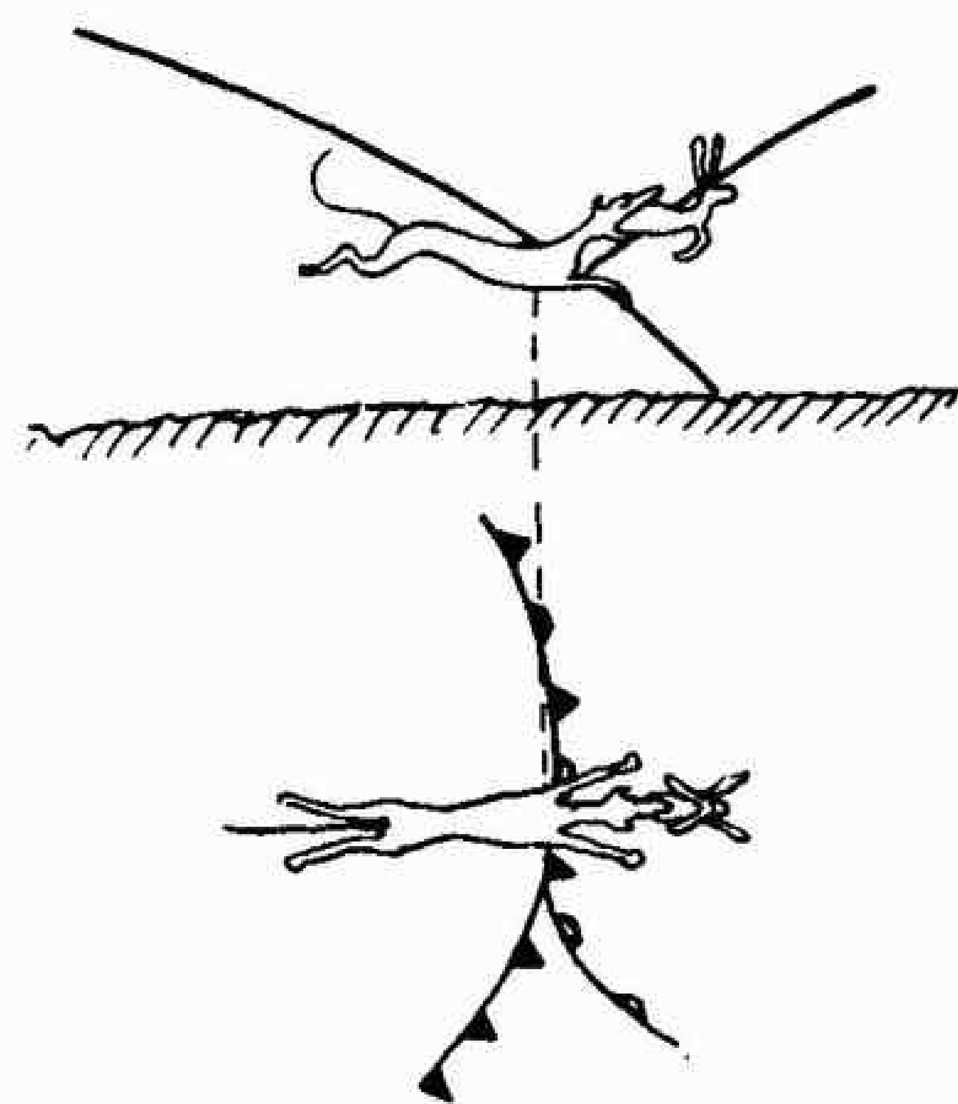
Figúrense una liebre —el frente caliente— perseguida por un galgo —el frente frío.

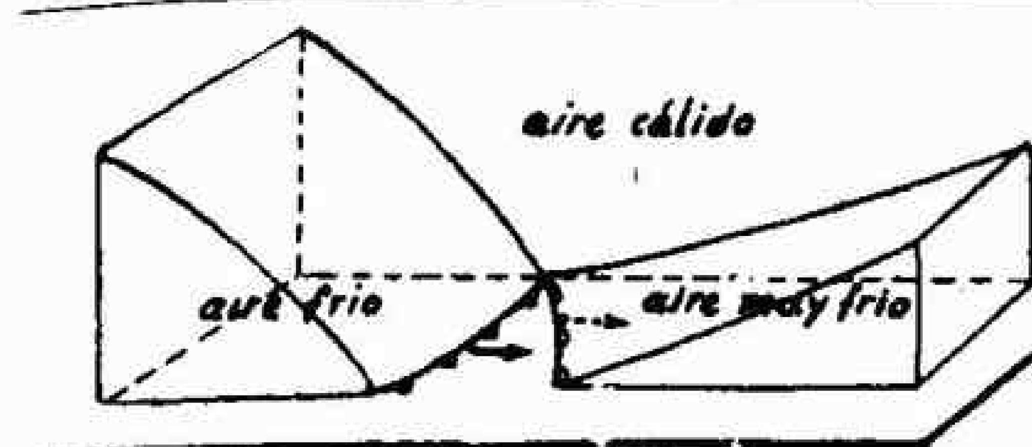
Salvo en casos muy especiales, el galgo alcanza a la liebre. Pero en nuestro caso, ya que estamos en plan de figuraciones e imaginación, ambos animales son mágicos y sucede algo bastante curioso: al empezar el galgo a devorar la liebre por los cuartos traseros, se le va atascando y acaba no pudiendo devo-

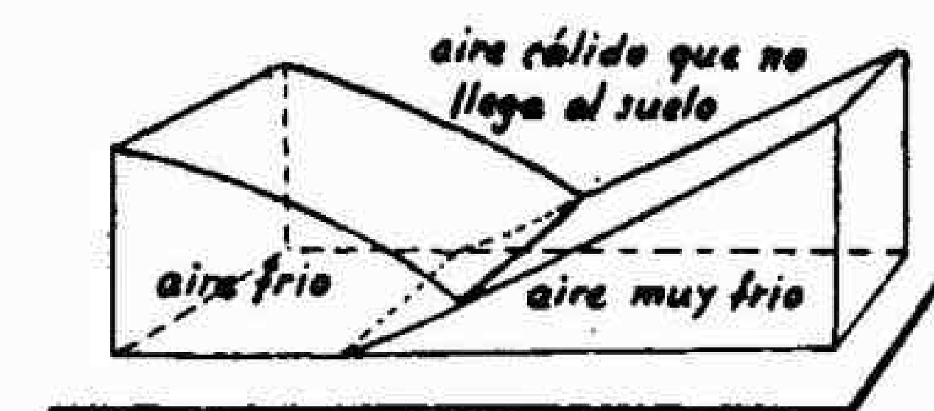


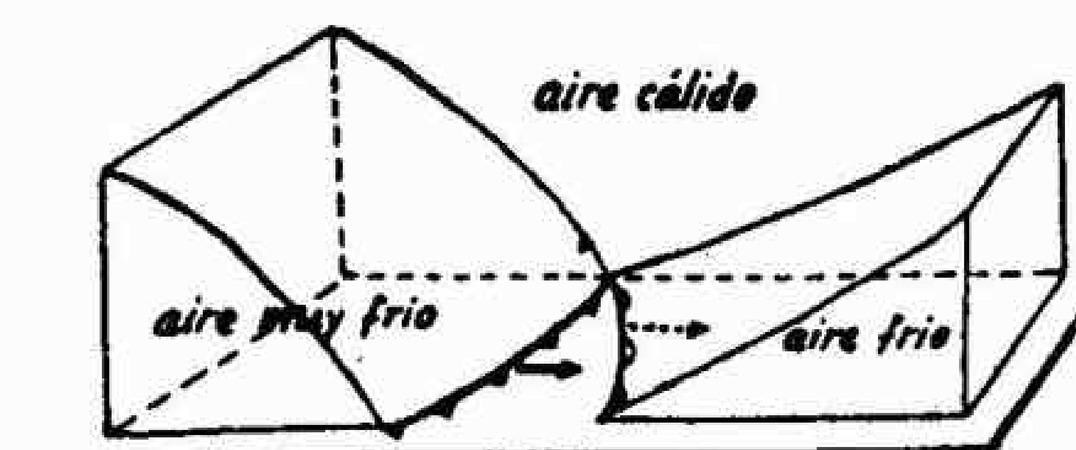
rarla toda. Entonces el perro pierde su aspecto delantero de can, se funde con la liebre... y el resultado es una especie de monstruo híbrido, con cabeza y patas delanteras de liebre y cuartos traseros de galgo.

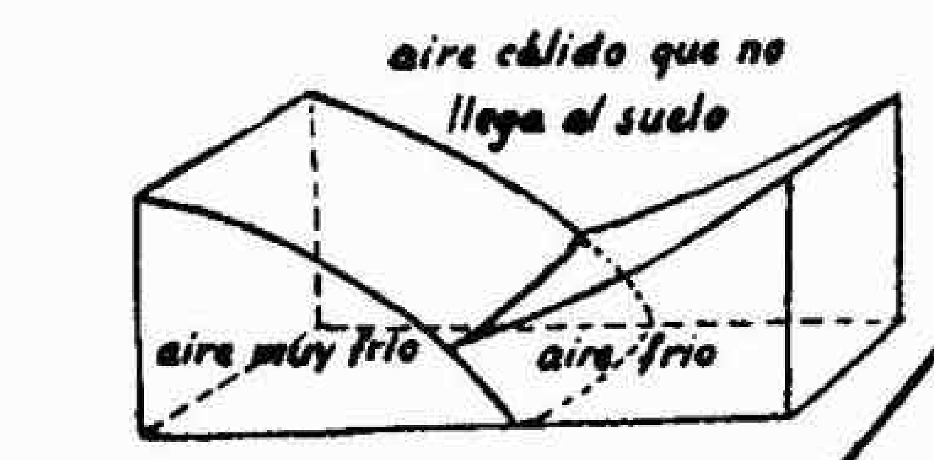
Un frente ocluido es, como en el ejemplo, algo híbrido. Una especie de monstruo que por delante es frente cálido y por detrás es frente frío. Con esta combinación ya pueden ustedes imaginar el desfile de nubes: sucesivamente cirrostratos, altostratos con lloviznas aisladas, y, sin diferenciación neta, nimbos-











tratos que producen lluvia y cumulonimbos con chubascos, granizadas o incluso tormentas.

Ya vimos en otra ocasión, pero no importa repetirlo, que hay veces en que una oclusión se parece a un frente cálido y entonces se llama *oclusión cálida*. Otras es más bien de tipo frente frío y se la denomina *oclusión fría*. Una u otra resultan según que la cuña de aire frío que retrocede delante del frente cálido, sea más o menos fría que la que empuja al frente frío.

En las oclusiones de tipo frío predominan las características de los frentes fríos, que pueden incluso llegar a enmascarar las propias del frente cálido delantero. Por el contrario, en las oclusiones de tipo cálido, quedan bastante enmascarados los fenómenos propios del frente frío.

AGUA EN LAS NUBES

Para quien vaya leyendo con alguna atención este libro, los frentes han dejado de ser una entelequia o abstracción teórica; son incluso algo más que unas simples líneas en el mapa del tiempo; se han convertido en algo tangible: en perturbaciones atmosféricas incansables en su caminar, incómodas para nosotros y hasta perjudiciales en ocasiones, altamente beneficiosas las más de las veces. Podemos verlos y sentirlos gracias a las nubes y demás fenómenos que las acompañan.

Pero: ¿Tenemos una idea lo bastante correcta de lo que es una nube? ¿De cómo se forman estos *signos visibles* del tiempo?

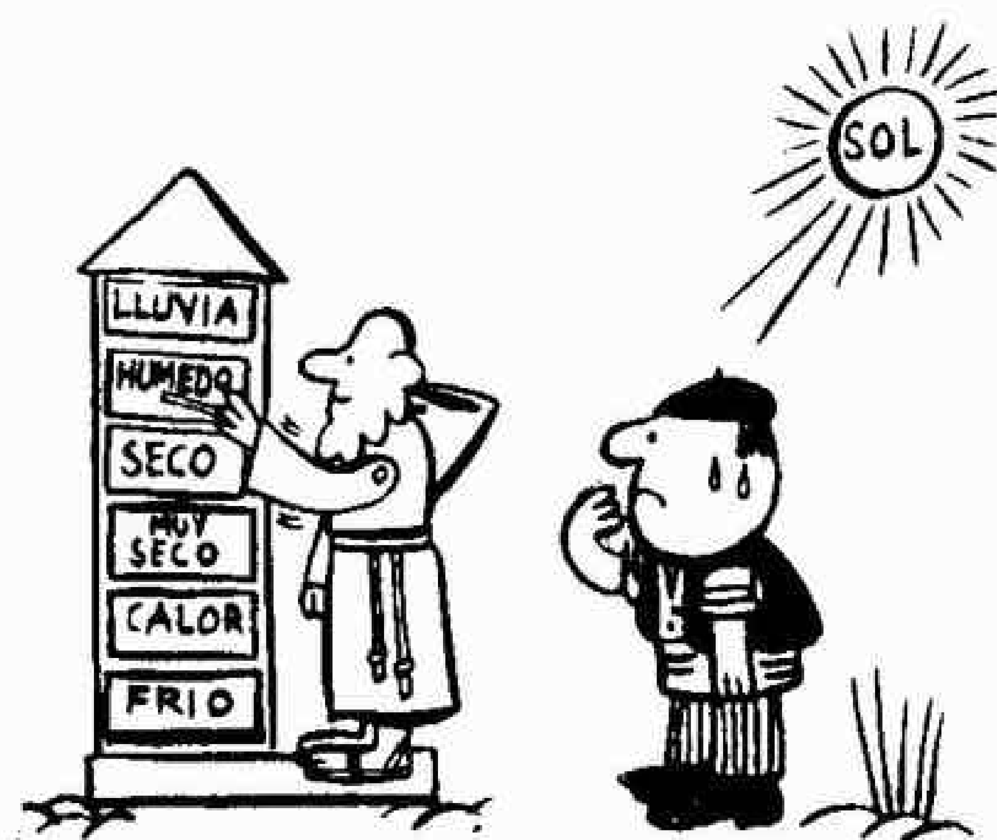
El aire siempre contiene agua. Unas veces en forma de vapor invisible; otras aparece ante nuestros ojos en forma de nube, formada por gotas diminutas que se agrupan y flotan en el aire.

¿Cómo y por qué ocurre esto? Vamos por partes.

LA HUMEDAD DEL AIRE

Uno de los motivos más frecuentes por el que las amas de casa escuchan en la radio la información del tiempo, es por el problema —para ellas importante— de que se les seque la ropa lavada. Todos saben que en los sitios húmedos es muy difícil que la ropa se seque. Cuando hace frío, si ha llovido hace poco, también es difícil: es que *el aire frío puede contener poca humedad.* En cambio en un día caluroso, aun en lugares habitualmente húmedos, en seguida se evapora el agua: es que *el aire caliente es capaz de contener mucha humedad; y tanta más cuanto mayor sea su temperatura.*

Por esto, tiene importancia eso que se llama «humedad relativa» del aire y suele tenerla menos la «humedad absoluta». Esta última mide «el número de gramos de vapor de agua que hay en un metro cúbico de aire»; pero este valor, comúnmente, nos dice poco. En general, lo que necesitamos saber es *si el aire*



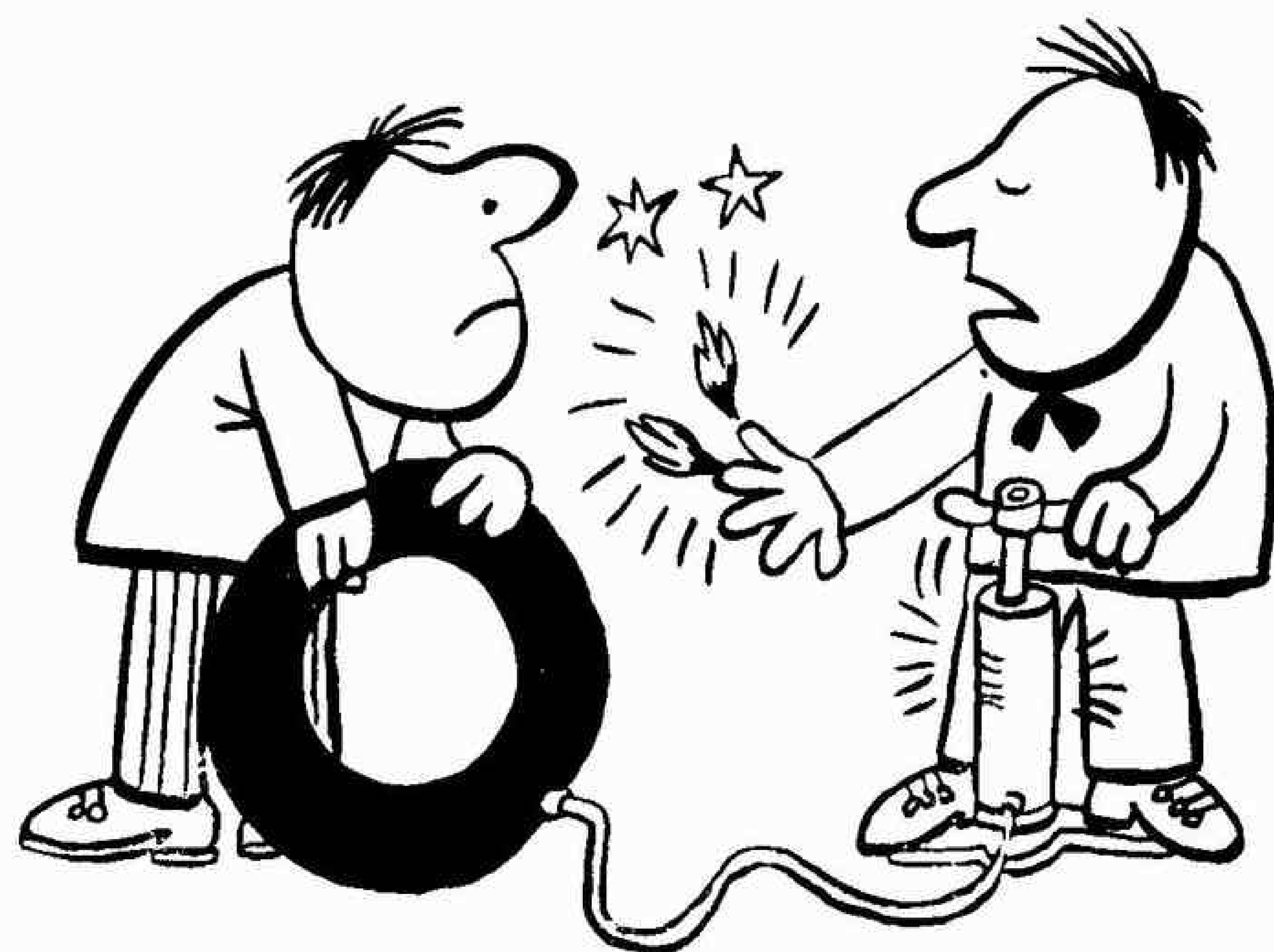
admite más humedad o si, por el contrario, está a tope o, como se dice técnicamente, «saturado». Esto nos lo dice la «humedad relativa», ya que ésta «es una relación entre la humedad que el aire contiene y la que necesitaría tener para quedar saturado». Se expresa en tantos por ciento. De manera que cuanto a usted le dicen que la humedad es del 20 %, usted *no sabe* el número de gramos de vapor que hay en un metro cúbico de aire (ni falta que le hace), pero *sí sabe* que el aire es capaz de contener cinco veces más vapor que el que contiene: usted sabe que se secará la ropa, o cualquier cosa húmeda, en seguida; y usted sabe que debe regar su huerto o su jardín si no quiere que se le pongan lacias las plantas.

EL JUEGO DEL ENFRIAMIENTO Y LA DILATACIÓN

Es sabido que en verano y en largos viajes por carretera, es prudente comprobar alguna vez que otra la presión de los neumáticos del automóvil. Es porque el calor ambiente y el del rodar del coche, dilatan el aire de dentro de las ruedas; y si no se vigilan, se rueda con presión excesiva, lo que es malo. Por el contrario, el frío contrae el aire. Ya vimos en otra ocasión que lo que hace el calor es *comunicar energía* a las moléculas, haciendo que éstas se muevan con más rapidez. El resultado del *golpeteo* de las moléculas contra las paredes del recipiente que las contiene es la *presión* del gas encerrado. Cuanto más calor le demos, más aumenta la presión del gas interior. Por eso resulta peligroso poner cerca del calor los recipientes con gas encerrado a presión; puede ésta aumentar más, hasta hacerlos reventar.

Igualmente, si aumentamos la presión, si *comprimimos* el gas apretando hacia dentro las paredes de la vasija, el gas se calienta, porque a las moléculas les queda menos espacio donde moverse y chocan entre sí y contra las paredes de la vasija más veces, surgiendo calor en cada choque. Por el contrario, si disminuimos la presión a que está sometido un gas, haciendo que se expanda o dilate, éste se enfría, pues, al tener más espacio donde moverse las moléculas, disminuye el número de choques.

También se puede razonar de otro modo: si ustedes dan calor a un gas encerrado en un globo de goma, el gas se dilata



porque las moléculas, al tener mayor energía, empujan con más fuerza contra las paredes, que ceden. Pero si ustedes le obligan a dilatarse sin darle calor, sino estirando la goma del globo, en todas direcciones al mismo tiempo, el gas *gasta de su propia energía* para dilatarse, consume *de su propio calor* para hacer que sus moléculas recorran el mayor espacio que ahora tienen libre. En consecuencia, *se enfría.*

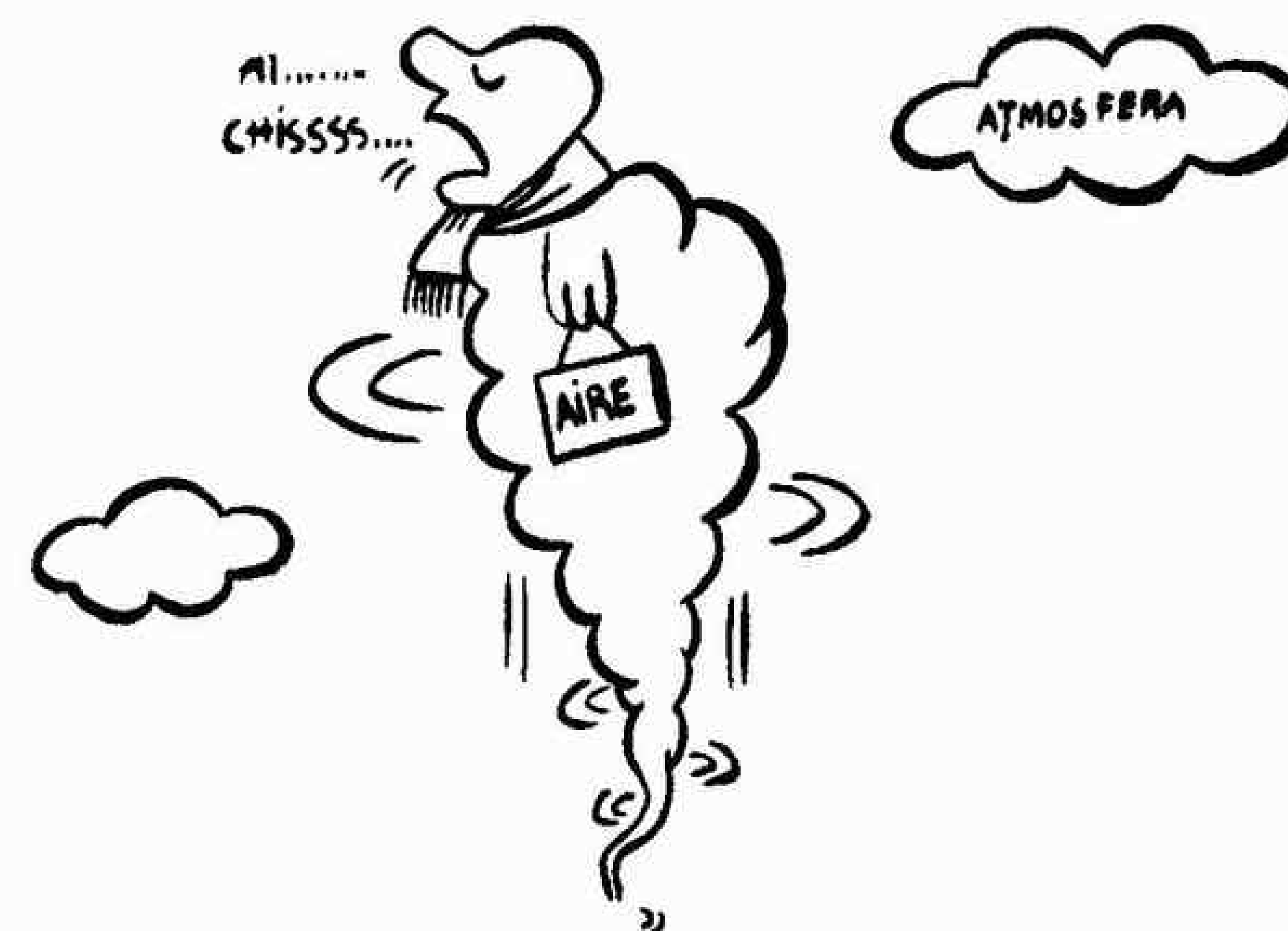
Y volvamos a nuestro tema del aire atmosférico.

AIRE QUE SUBE

Resulta de todo lo dicho que si se enfría el aire, aumenta su humedad relativa, pudiendo llegar a alcanzar el 100 % y quedar saturado. Entonces no puede ya contener más vapor; si seguimos enfriándolo, *le sobra parte del que tiene.* Este vapor sobrante *se condensa* en forma de gotitas de agua, que reunidas en millones de millones forman la nube. Por esta causa se empaña por fuera el vaso que contiene una bebida bien fría en un día caluroso. Porque se enfría el aire de alrededor del vaso y deposita sobre él el vapor que entonces le sobra. No otra es, asimismo, la razón del empañado de los cristales de las ventanas en invierno y de la formación de las nieblas y del rocío y de que se empañen las gafas al entrar en un sitio cálido cuando hace frío en la calle y del chorro de vapor que sale por boca y nariz en una mañana de crudo invierno.

Una buena manera de enfriar el aire es obligándolo a elevarse. Aunque no las veamos, en el aire en contacto con un suelo caldeado se forman unas grandes *pompas de aire* caliente, como cuando un líquido hierve. Igual que si fueran globos o pompas de jabón, estas pompas de aire caliente, invisibles, comienzan a elevarse. A medida que suben se expanden, se dilatan, pues van encontrando valores cada vez más bajos de la presión atmosférica. Dicha expansión produce un enfriamiento, progresivamente más intenso, del aire de las pompas; hasta que el vapor que contienen es ya saturante. Si sigue la elevación y el consiguiente enfriamiento, empezará a condensarse el vapor sobrante y la nube aparecerá a nuestros ojos, sin que haya frentes de ningún género. La nube, en este caso, no es más que la parte visible del aire que sube. Siempre, pues, que vean nubes, pueden pensar que hay aire que se está elevando.

Y lo mismo da que la subida sea vertical sobre un suelo caldeado, que a lo largo de la rampa de un frente, que remontando la ladera de una montaña: «Aire que sube, nube en la cumbre», podría muy bien ser un nuevo refrán meteorológico. La proposición queda hecha.



Para que haya lluvia, previamente ha de haber nubes. Y la predicción de dónde va a llover resulta teóricamente muy sencilla: lloverá en aquellas regiones en que se prevea que el aire va a verse obligado a ascender lo suficiente, por cualquier causa.

CAPÍTULO IX

EL MARTILLO DEL DIOS TOR

Raro es el verano —y a veces también en otras estaciones— en que no leemos en la prensa la noticia —clásica y triste— de que *un rayo mató a un pastor*. A veces el fulminado es alguien sentado junto a la lumbre, cuyo humo sale por la corta y ancha chimenea rural.

El relámpago, el rayo, el trueno. Tres palabras y un solo fenómeno: la tormenta. Sin relámpago y rayo no hay trueno; y sin trueno, rayo y relámpago no hay tormenta. Ninguna otra manifestación de lo que se ha dado en llamar «la furia de los elementos» es tan terriblemente hermosa. «Hay quien no se acuerda de Santa Bárbara hasta que truena», dice un viejo refrán español. Y es que la imponente majestad de la tormenta atrae la mirada del hombre, le hace sentirse pequeño y acordarse de Dios.

La nube tormentosa es el *cumulonimbo:* nube de enorme desarrollo vertical cuya parte más elevada está formada por blancos penachos de *cirros*. En la fase final de la tormenta, cuando más bronco y estremecedor es el rodar del trueno, estos penachos se sueldan y toman la clásica forma de un enorme *yunque* rematando la nube, que ustedes habrán visto más de una vez, seguramente.

Para los antiguos escandinavos, la tormenta era el modo de manifestar su ira nada menos que un dios: el dios Tor, de la mitología septentrional, de broncíneo y cornúpeta casco y negra barba. Que golpeaba en el *yunque,* como un ciclópeo herrero con su tremendo martillo, provocando el trueno. Los relámpa-



gos y los rayos no eran otra cosa que las chispas y centellas que saltaban al golpe del martillo de Tor.

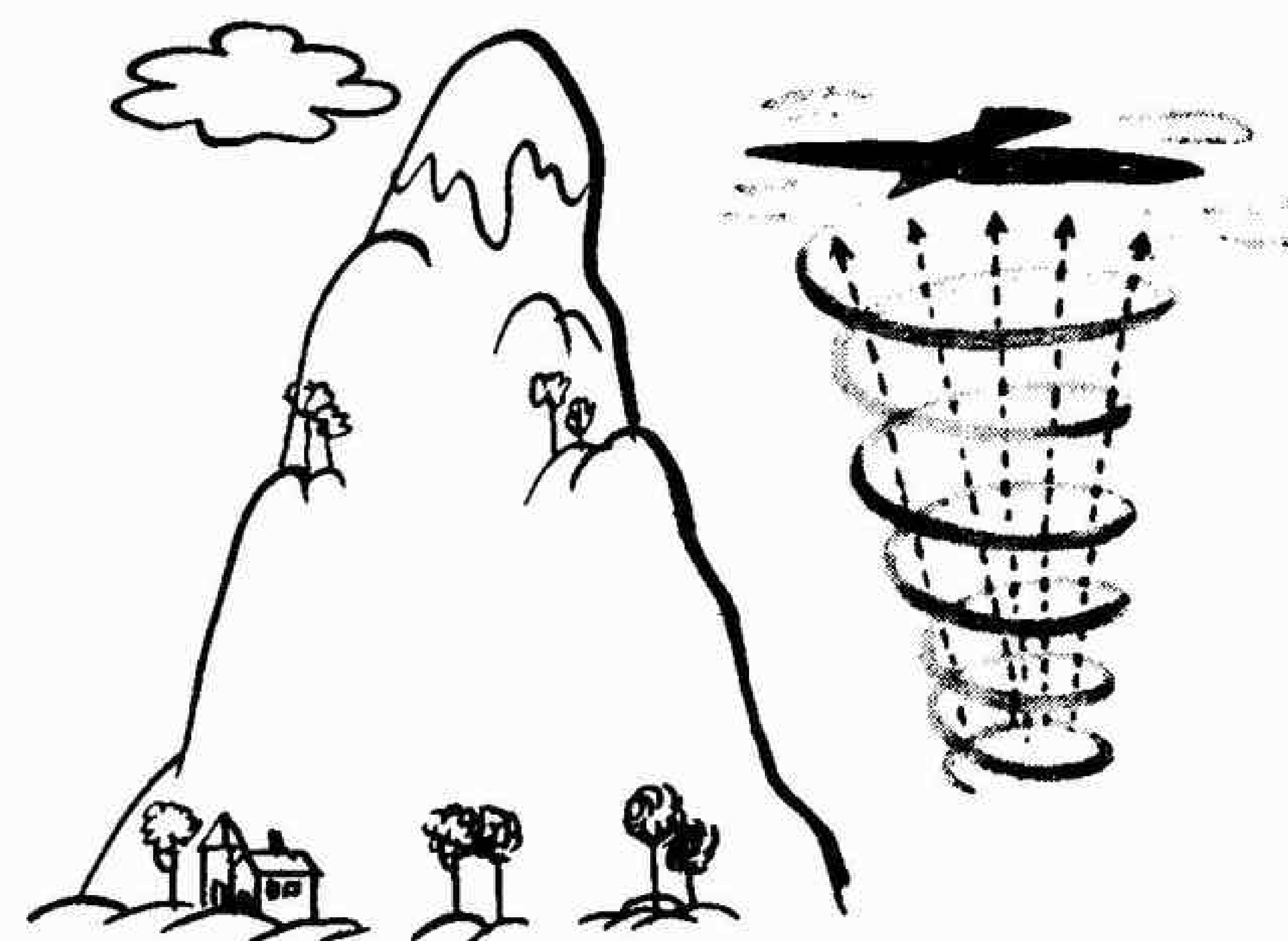
Para la meteorología, la tormenta es algo mucho más prosaico. El iracundo dios de los antiguos pueblos del norte, se convierte tan sólo en aire que ascienda con gran violencia: en aire *inestable*.

Desde luego, era más bonito lo de los escandinavos.

LA CHIMENEA INVISIBLE

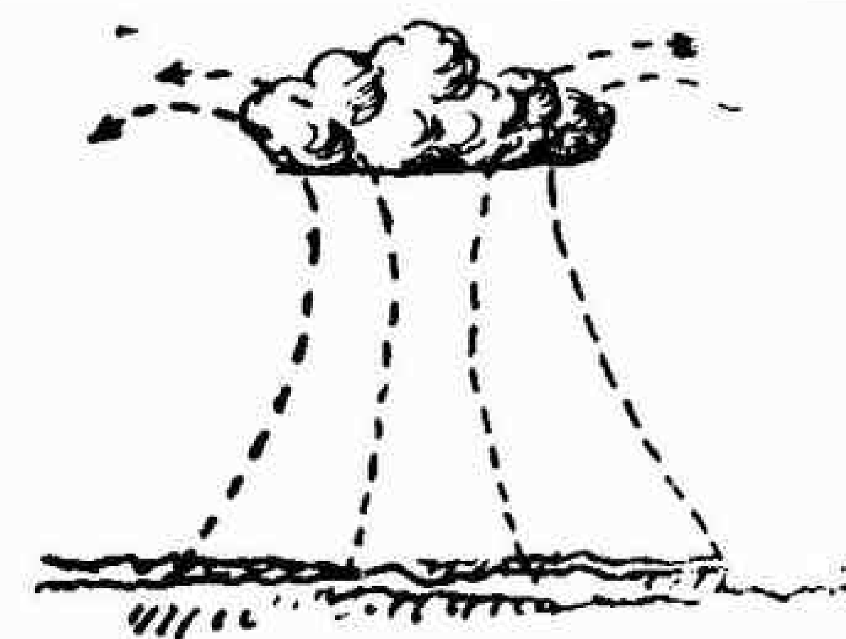
Es muy posible que hayan ustedes observado un curioso fenómeno: en días de fuerte sol y más fácilmente en verano, se ven a veces sobre determinados parajes unas aves que, con las alas extendidas y sin moverlas, suben dando vueltas como por una escalera de caracol. Están practicando el *vuelo a vela*; es una especie de diversión que no les cuesta ningún esfuerzo: ellas no trabajan para elevarse; son arrastradas hacia lo alto por aire que asciende en el interior de una chimenea invisible.

Condiciones semejantes son las que utilizan los pilotos de *vuelo sin motor*, con sus veleros, para realizar el emocionante deporte del vuelo a vela. Y ustedes, seguramente, ya habrán pensado en esas pompas de aire, recalentado junto al suelo, que suben como globos invisibles y de las que se habló en el capítulo anterior.



La fuerza ascensional de estas pompas es tan grande, la mayor parte de las veces, que son capaces de transportar uno de esos veleros con uno o dos hombres dentro hasta grandes alturas: lo único que tiene que hacer el piloto es maniobrar con los timones para no salirse de la zona de ascendencia —o para salirse de ella y buscar otra más apropiada a sus propósitos— lo cual requiere un arte especial y una pericia grande.

Una vez que comienza el ascenso de estas pompas de aire caliente: ¿Prosigue lo suficiente para formar una nube? No siempre, pero muchas veces sí. Y puede saberse, por anticipado, si se ha realizado pocas horas antes un sondeo de la atmósfera para conocer cómo varían la temperatura, la presión y la humedad al subir en el seno del aire; para saber si la atmósfera es *es-*



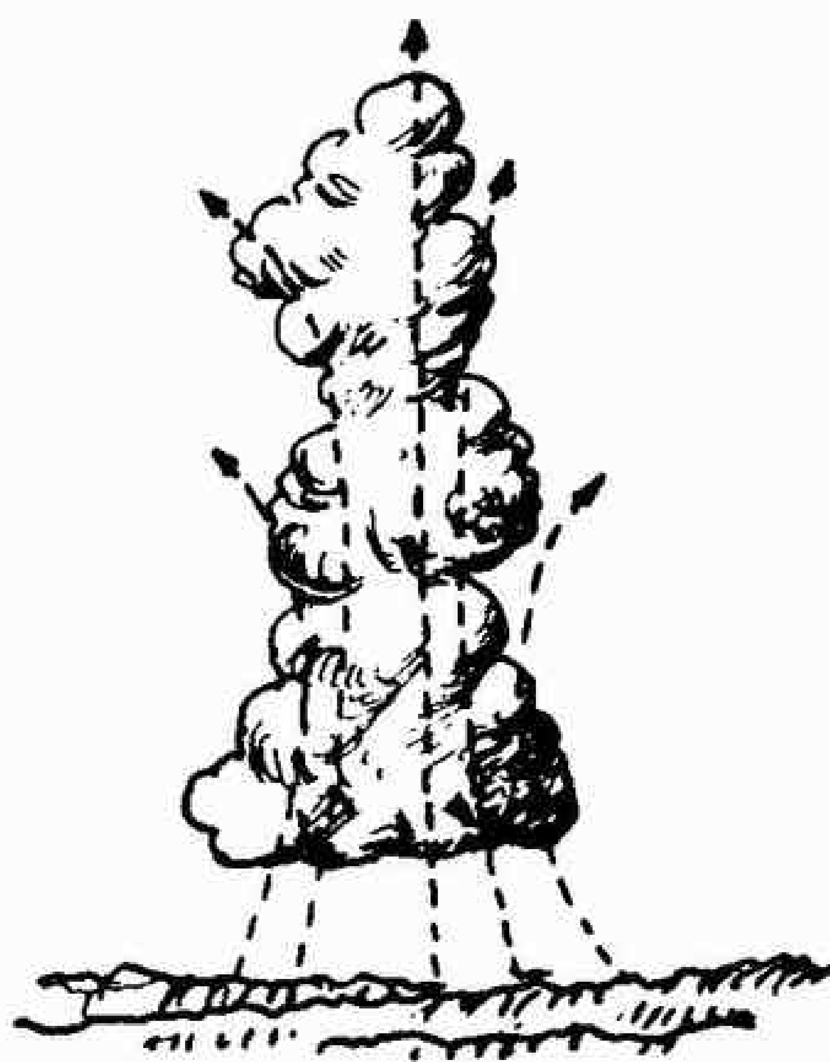


table o *inestable*. A veces las pompas inician su ascenso, pero se detienen a poca altitud: los pájaros citados al principio, no se ve que suban más de unas cuantas decenas de metros; es que la atmósfera es estable; si se forman nubes, no tienen apenas desarrollo. Por el contrario, en otras ocasiones el aire de la invisible pompa sube y sube; cada vez encuentra menor presión y se dilata, enfriándose; llega un momento en que el vapor de agua que contiene se condensa en gotitas y comienza a aparecer la nube: el aire que asciende deja de ser invisible; se ve crecer la nube y puede llegar a convertirse en un gran cúmulo o en un cumulonimbo. Todo esto ha podido ocurrir sólo si la atmósfera es inestable.

Vamos a tratar de que quede bien claro esto de la estabilidad y la inestabilidad atmosféricas.

ASCENSIÓN A LO JULIO VERNE

Imaginémonos dentro de una de estas pompas de aire recalentado y ascendente. Y razonemos, a lo Julio Verne, lo que va a suceder en nuestro viaje a las alturas.

Supongamos que a bordo llevamos dos termómetros iguales: uno dentro de nuestra pompa y otro que, atravesando la película invisible que la rodea y limita, puede tomar la temperatura

del aire exterior. El viaje es tan veloz, que no da tiempo para que el aire de nuestra burbuja tenga intercambios de temperatura con el que la rodea. Conforme ascendemos, nos damos cuenta de que nuestra pompa aumenta de tamaño. Es natural, ya que encuentra menos presión externa a medida que sube, y en consecuencia se dilata. La expansión del aire interior de la pompa va acompañada, según ya razonamos, de enfriamiento. Y, en efecto, el termómetro del interior baja progresivamente, al mismo tiempo que ocurre la dilatación. Pero el termómetro exterior también va bajando, ya que el aire que nos rodea va estando más frío cuanto más arriba. Mientras el termómetro de dentro marque mayor temperatura que el de fuera, seguiremos subiendo. Si tal cosa ocurre hasta grandes alturas (más de 5.000 metros), *la atmósfera es inestable*.

Pero pudiera ocurrirnos que el termómetro de dentro bajase más deprisa que el del exterior; entonces llegará un momento en que se igualen las temperaturas. Un poquito más que subamos y nuestro aire interior de la pompa estará más frío que el exterior que nos rodea, por lo que no podremos flotar y caeremos. Si tal cosa ocurre antes que se haya podido empezar a condensar el vapor de nuestro aire interior, o a pocos cientos de metros más arriba de cuando empezó la condensación, no se formarán nubes o éstas tendrán poco desarrollo, respectivamente: *la atmósfera es estable*.

La existencia de inestabilidad atmosférica es condición indispensable para que se pueda formar una tormenta. Y ya



comprenderán que la presencia de aire muy frío en las alturas, favorece la formación de dicho fenómeno, ya que favorece la inestabilidad.

Hay que asociar, pues, la idea de una atmósfera inestable con la de aire frío a grandes alturas. O con la de aire muy caliente y suficientemente húmedo (es decir, con una temperatura «virtual» muy alta) en bajos niveles. O, mejor aún, con ambas circunstancias de aire frío a grandes alturas y aire caliente a bajos niveles, a la vez.

LA TEMPERATURA «POTENCIAL»

Resumiendo, la atmósfera es inestable cuando la temperatura del aire a nivel del suelo es, o puede llegar a ser, lo suficientemente alta como para que el aire ascienda *manteniéndose siempre más caliente que el aire que vaya encontrando en las alturas*. O lo que es igual: *cuando el aire de arriba es más frío de lo que puede llegar a serlo el de abajo cuando ascienda a su mismo nivel*.

Resulta, pues, que el aire de abajo será normalmente más cálido que el de arriba, entre otras razones porque está más comprimido. Pero esto no es suficiente para que la atmósfera sea inestable: es necesario que *puestos ambos aires en las mismas condiciones de presión*, siga siendo más cálido el que hay abajo.

Si el aire frío de arriba lo obligásemos a descender hasta ponerle en el suelo, sin que durante el viaje intercambiase calor con el aire que va encontrando, llegaría abajo mucho más caliente que lo que estaba arriba; esto se debe a que va encontrando mayor la presión atmosférica y se comprime, calentándose. La temperatura que, en tales condiciones, tendría al llegar al suelo es lo que se llama su «temperatura potencial». Es decir, cuando está arriba tiene una temperatura, la que sea; pero es capaz de adquirir otra temperatura mayor (sin que le demos calor) sólo con ponerle a la presión que reina en el suelo. Esta otra temperatura la tiene *en potencia*: es, por lo tanto, su «temperatura potencial».

Pues bien: *la atmósfera es inestable cuando el aire de las capas altas tiene una temperatura potencial más baja que la temperatura real del aire que hay junto al suelo.*

HISTORIA DE UNA TORMENTA

La tormenta es una criatura que tiene un ciclo de vida: nace, crece, se desarrolla y muere.

Pensemos, una vez más, en una de esas pompas o bolsas de aire caldeadas. Como ambiente propicio para que su historia sea interesante la imaginaremos en una atmósfera inestable. La pompa, como ya sabemos, empieza a sufrir, dilatándose y enfriándose. A todos los niveles se encuentra siempre más caliente —y más ligera— que el aire que la rodea. A determinada altura, llamada su «nivel de condensación», se ha enfriado lo suficiente para que el vapor de agua que contiene, sea el máximo que puede contener. Inmediatamente empieza a formarse la nube: precisamente un *cúmulo*. La pompa de aire ascendente se ha hecho ya visible para nosotros.

Al condensarse el vapor, desprende aquel «calor latente» de que se habló en un capítulo anterior, de manera que el aire va recuperando parte del calor que tenía empleado: recupera parte de su «temperatura virtual» (cap. 6). Al seguir subiendo y condensándose más vapor, el aire se enfría menos que antes de comenzar a formarse la nube, ya que parte de lo que se enfría en la subida se compensa con ese calor latente que recupera. La consecuencia es que *sube más deprisa* que cuando no había empezado la condensación. La nube va creciendo más y más.



Fuertes corrientes verticales ascendentes la alimentan. Con facilidad llega su cima a los seis o siete kilómetros de altura y, en estas regiones, el aire está ya muy frío, a muchos grados bajo cero. Las gotitas de agua de la nube no tienen más remedio que congelarse; de manera que en la parte superior de la nube es el hielo la materia prima, como en la inferior lo es el agua.

La nube es ya un hermoso *cumulonimbo*, con fortísimas corrientes ascendentes dentro de él. Para compensar, el aire desciende por sus bordes; por eso es frecuente ver una de estas grandes nubes rodeada de un espacio de cielo azul, ya que el aire descendente disipa la nubosidad. Es la primera fase de la vida de la tormenta; de la que, entonces, se dice que se encuentra *en estado de cúmulo*. El cumulonimbo no presenta, aún, el yunque característico en su parte alta: es el *cumulonimbo calvo*.





El segundo acto empieza a partir de aquí, cuando el tope de la nube no sube ya más. Los cristalitos de hielo empiezan a caer, fundiéndose y engrosando con otras gotitas líquidas que se le adhieren; pero son de nuevo elevados por fuertes corrientes ascendentes. Como en la periferia de la nube el aire desciende, el hielo que cae tantea el terreno por ahí, saliéndole a la nube unas *fibras de cirros* en su parte alta, como mechones de pelo blanco: es el *cumulonimbo piloso*. Las gotas y cristales que no salieron a los bordes, tienden nuevamente a caer, engrosando más, hasta que una nueva corriente ascendente los pilla de refilón y los arrastra de nuevo hacia arriba, donde vuelven a congelarse formando granizos. El proceso se repite varias veces y, en cada una, el granizo aumenta de tamaño porque se le van añadiendo capas de agua al caer, que se congelan al subir. Por eso, si cortan un granizo grueso por la mitad, aparece su estructura en capas concéntricas, como las de una cebolla.

Llega un momento en que, bien porque ya pesa mucho el granizo, o bien porque lo atrapa alguna corriente descendente, la precipitación puede alcanzar el suelo en forma de grandes goterones; o de granizo si su tamaño era tan grande que no dio tiempo a fundirse todo en el descenso. Y con esta precipitación termina el segundo acto, o fase segunda, de la nube tormentosa; que se llama tambien *fase de madurez*.

El tercer acto es el de la muerte del cumulonimbo. La tormenta *descarga* en fuertes aguaceros y granizadas; van desapa-

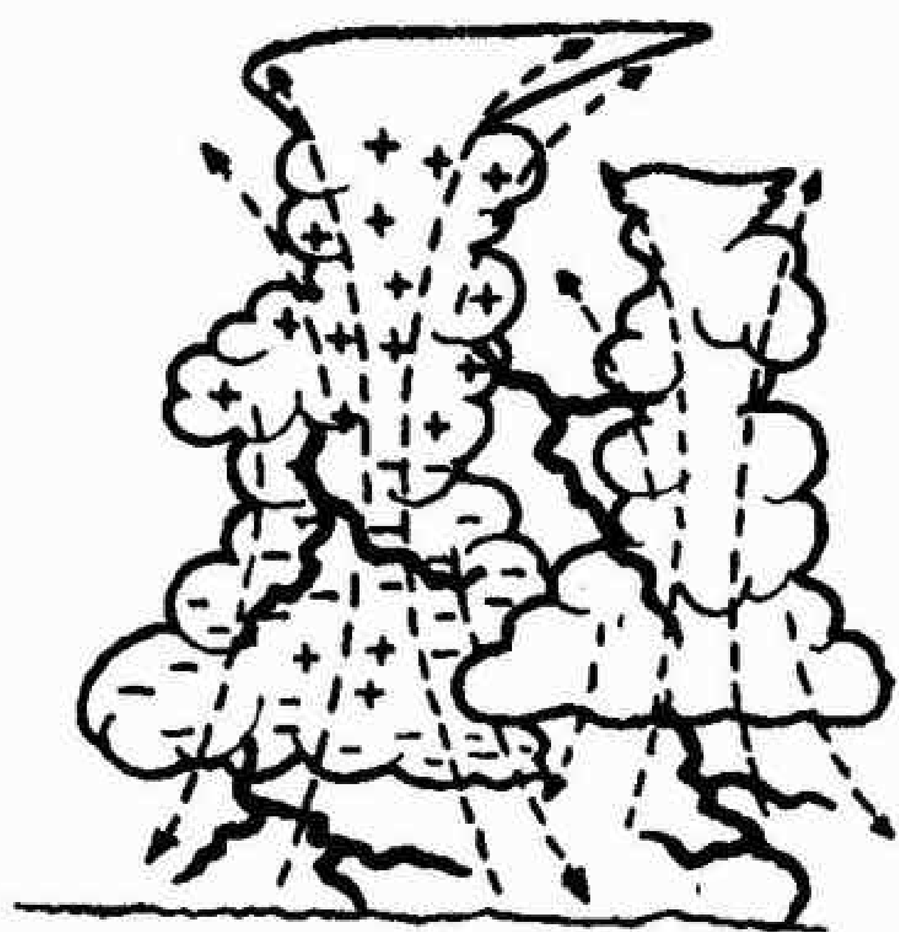
reciendo las corrientes ascendentes del interior de la nube tormentosa; casi no existen ya en ella más que corrientes descendentes y la precipitación arrecia. Ustedes pueden reconocer a simple vista y a distancia este estado, que se llama de *disipación*: en la parte más alta de la nube, como si se tratase de un clásico cubrecabezas universitario, aparece un yunque blanco, de estructura fibrosa, ya que está hecho de cirros. Tal yunque está muchas veces a diez kilómetros de altura, lo que da idea de la colosal dimensión de esta clase de nubes: es el cumulonimbo con yunque.

Pero este yunque es como una mortaja, es «el canto del cisne» en el cumulonimbo. Con él acaba su vida.

RAYOS Y TRUENOS

La historia relatada es la de los *fenómenos mecánicos* de la tormenta. Pero lo más llamativo en estos casos, lo que sobrecoge el ánimo de muchos, lo que tiene de grandioso y espectacular, es lo que suele llamarse *el aparato eléctrico*. Es decir, los famosos martillazos del mítico dios Tor: los rayos y los truenos.

La atmósfera siempre tiene cargas eléctricas libres; la mayor parte de ellas positivas. Muy pocas junto al suelo porque son atraídas y neutralizadas por la carga negativa de la Tierra. Abundan, por ello, más cuanto más arriba; de modo que a unos 100 kilómetros de altitud (en la base de la «ionosfera», que está





por encima de la estratosfera) hay tal cantidad de cargas positivas que, entre ellas y el suelo, hay una diferencia de potencial, o voltaje, de unos 200.000 voltios. Pero hay tantísimo aire interpuesto que no puede saltar la chispa: es el «campo eléctrico de la atmósfera».

Veamos qué ocurre cuando aparece la nube tormentosa. En ella, las gotitas de agua son inicialmente neutras. Lo cual no significa que no tengan cargas, sino que las tienen positivas y negativas en igual cantidad y entremezcladas. Todos saben que frotando los objetos, éstos se electrizan; es decir, se separan las cargas positivas de las negativas, marchando unas u otras al objeto con que se frota y quedando las restantes en el objeto frotado; que es capaz, entonces, de atraer cuerpos muy ligeros,

como pedacitos de papel. En la nube, las gotas son frotadas violentamente por las corrientes ascensionales del aire: a veces, incluso, partidas en gotas menores. Esto las electriza, separa sus cargas eléctricas, tendiendo a ir hacia abajo las que son negativas y marchando las positivas hacia arriba. Cuando la gota se rompe, la parte que queda con carga negativa se va hacia la base de la nube, que queda a unos 500 metros del suelo, haciendo aparecer en éste, *por inducción*, cargas positivas; lo que altera su estado natural negativo. Las gotitas con carga positiva tienden a acumularse en la parte alta de la nube. Tal distribución «distorsiona» el campo eléctrico natural de la atmósfera; es antinatural, es inestable; y el rayo se encargará de volver las cosas a su ser, al orden natural, cuando llegue el momento apropiado.

A medida que la nube tormentosa va desarrollándose, la diferencia de potencial o voltaje entre su base y su cima se va haciendo mayor. Cuando llega a tener el enorme valor de casi 30.000 voltios por cada centímetro de distancia que separe la parte con carga positiva de la negativa, salta la chispa produciéndose el rayo y, en su consecuencia, el trueno.

El rayo puede saltar entre dos nubes, entre dos partes de una misma nube, de la nube a la tierra y, en algunos casos más raros, de la tierra a la nube. Unas 45.000 tormentas se producen cada día, por término medio, en toda la superficie del globo terrestre. Durante la formación de cada una de esas nubes tormentosas, se altera la disposición natural de las cargas eléctricas. El rayo tiende a poner las cosas en su orden primitivo, a volver a juntar y neutralizar las cargas eléctricas separadas. Se cumple con ello, una vez más, el principio eterno de la acción y reacción: cuando hay una causa *(acción)* que altera un equilibrio natural, surge un efecto *(reacción)* que tiende a volver las cosas a su ser, a restablecer el equilibrio.

¡CUIDADO CON LOS RAYOS!

Ya va dicho que cada día se producen, por término medio, unas 45.000 tormentas en toda la superficie terrestre. Si usted se ve sorprendido por una de ellas no olvide que:

— En España, por ejemplo, mueren fulminadas por el rayo *unas 70 personas al año*. No trate de ser la 71.

— Lo de que «Quien a buen árbol se arrima...», sólo vale para los rayos del sol.

— Los árboles y chozas aislados son lugares peligrosos de cobijo.

— En las casas de campo, conviene alejarnos de puertas y ventanas, que deben permanecer cerradas. No pisar suelos húmedos ni con calzado mojado.

— Son peligrosos los muros exteriores de las casas, sobre todo si están mojados, y los grandes bloques de piedra.

— Se debe huir de los lugares donde se sepa que cayeron rayos en otras ocasiones. La proximidad de yacimientos de minerales metálicos, suele atraer al rayo. Igualmente las corrientes de agua subterráneas.

— Si va en automóvil, debe cerrar las ventanillas, también las entradas de aire exterior para ventilación o calefacción; baje la antena de la radio y apague ésta. Antes de apearse, si pasó por un lugar donde caían rayos cerca, descargue la electricidad estática del auto mediante una cadena o alambre que toque tierra desde la carrocería. Si no lo hace se expone a un calambrazo al tocar usted el suelo.

— Si le pilla la tormenta en pleno campo, la mejor postura es quedarse en cuclillas... y aguantar el chaparrón: más vale llegar a casa empapado pero por su pie, que no que lo tengan que llevar en unas angarillas.

— Algunos electrocutados por rayo *reviven* mediante la respiración artificial prolongada.

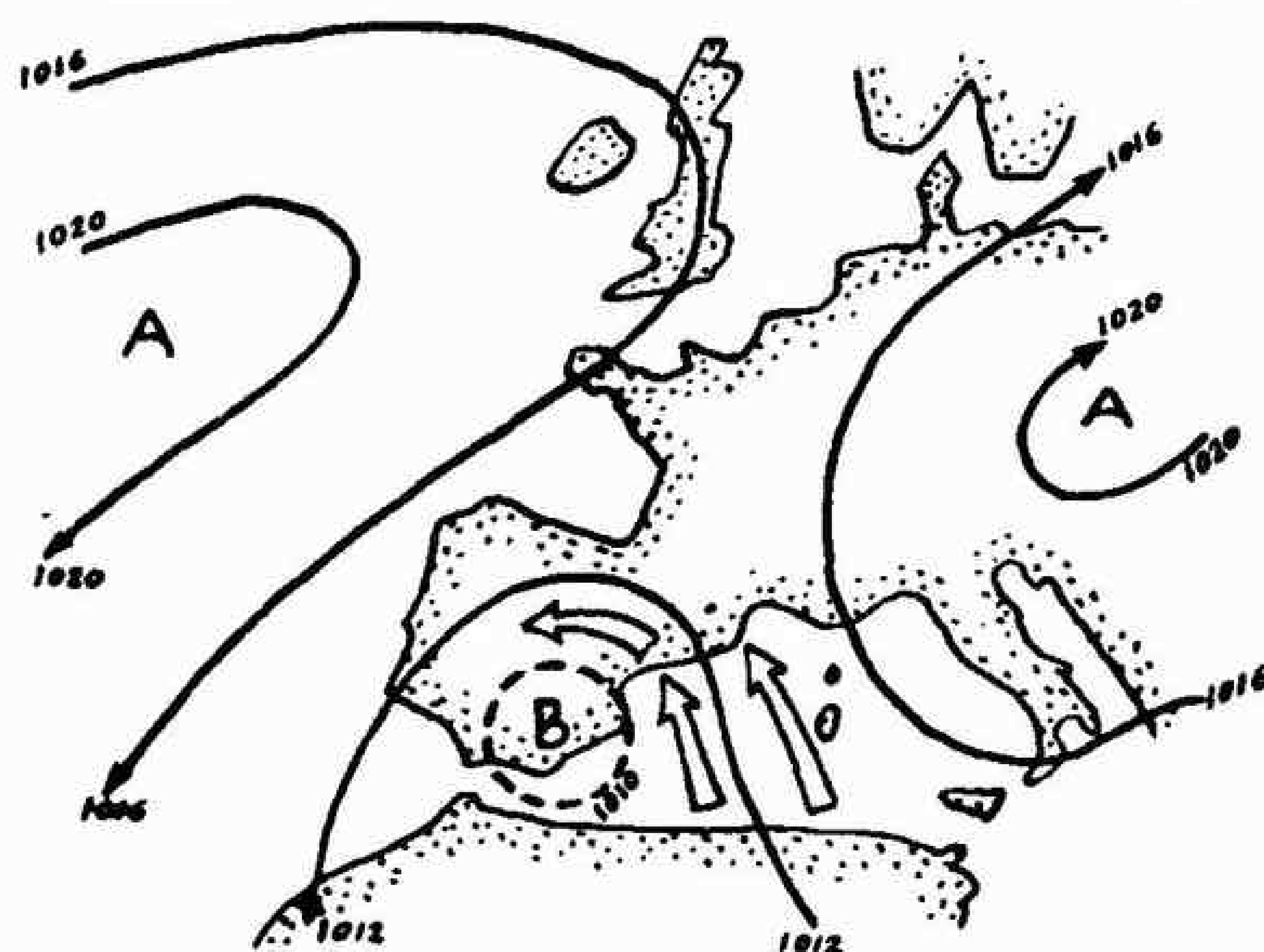


TORMENTAS DE DISTINTAS CLASES

Las tormentas, como ya hemos visto, se deben a la inestabilidad de la atmósfera. El aire inestable sube violentamente hasta grandes alturas formando la nube tormentosa. Pero la causa que hace subir al aire no es siempre la misma. En líneas generales podemos considerar dos modos distintos de producirse y distribuirse las tormentas.

El primero es más propio del invierno, del otoño y de principios de primavera; y va siempre asociado a un frente frío. Éste, como saben ya, provoca violentas ascensiones en el aire cálido contra el que avanza. Si este aire caliente es inestable, el empujón hacia arriba que le da la cuña fría produce un «efecto de disparo», como la inflamación del fulminante dentro de la pólvora, siendo suficiente para que se ponga de manifiesto la inestabilidad existente. Entonces el frente frío va orlado de tormentas. Como sobre el suelo aparece el frente como una línea, las tormentas también van alineadas. A veces la línea de tormentas precede bastante al frente; otras marchan bastante detrás del frente. En ambos casos se habla de una «línea de turbonada»; *prefrontal* o *posfrontal,* respectivamente. Son «tormentas en línea».

En cualquier caso, la línea de tormentas avanza, al redoble



del tambor de sus truenos y se aleja a continuación. Dura, pues, lo que el paso del frente o de la línea de turbonada.

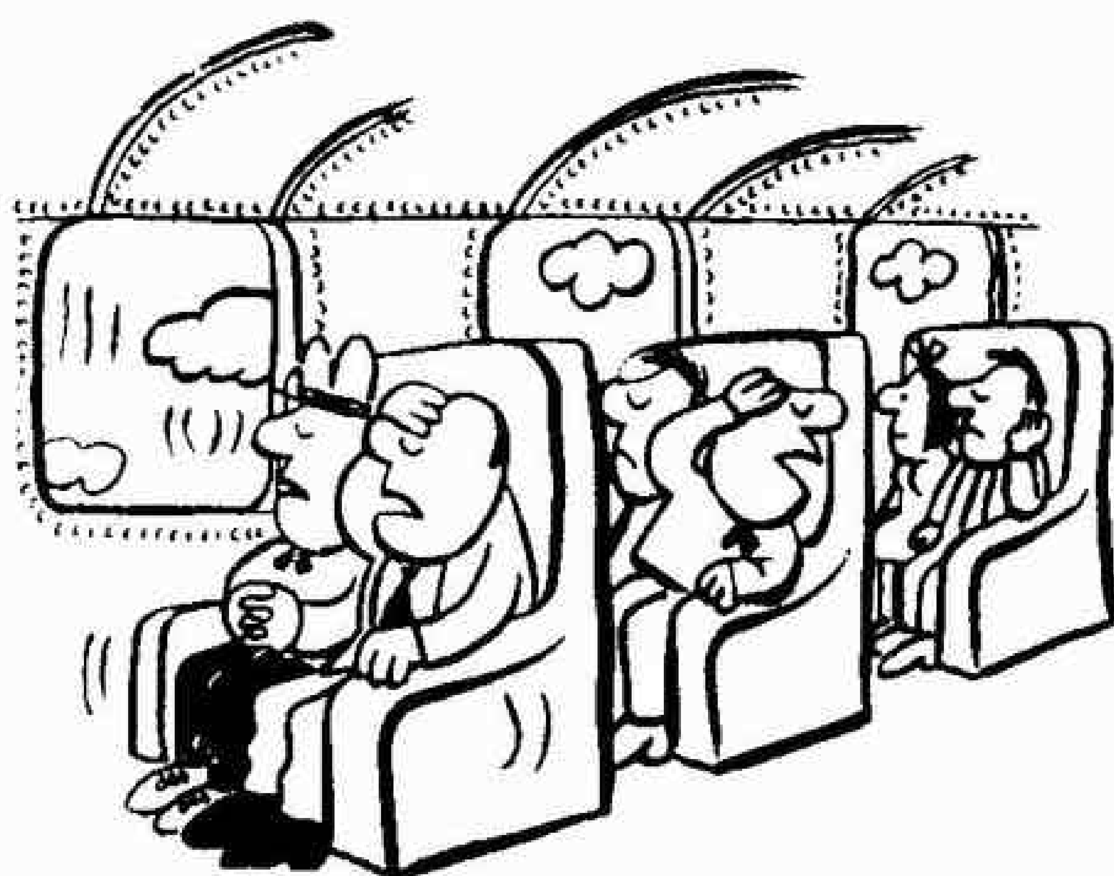
El otro tipo, más propio de bien entrada la primavera y del verano, es el de las llamadas *tormentas de calor.* Éstas son, en general, más potentes que las anteriores y se dispersan corrientemente a lo largo y a lo ancho de un área bastante extensa: son *tormentas de área* y suele resultar muy difícil prever en qué localidades estallarán.

Su origen está en el calentamiento del suelo y del aire en contacto con él, propio de las estaciones calurosas, especialmente del verano, como ya se explicó. Hay ocasiones de éstas en que el calor del día fue suficiente para formar la nube tormentosa, pero no para que alcanzase el estado de madurez; pero al anochecer se enfría rápidamente la cima de la nube y el aire que la rodea; y este enfriamiento de arriba es suficiente para que la tormenta *cuaje:* son las «tormentas nocturnales».

El mapa anterior muestra una situación atmosférica típicamente veraniega en España, que muchas veces va acompañada de actividad tormentosa. Tales tormentas de calor se trasladan en la dirección en que soplan los vientos de las capas altas de la atmósfera.

BORRASCAS TÉRMICAS

Observen, en la figura, que el aire que penetra en España peninsular a ras del suelo, está muy caldeado; por venir del Sahara, en primer lugar y por ser verano, además. La consecuencia es que sobre España se sitúa un *colchón* de aire muy caliente y, en consecuencia, muy ligero. La presión atmosférica, con aire tan caliente, es baja; y el viento contornea el área peninsular en sentido ciclónico. Puede, incluso, cerrarse del todo la circulación del viento y aparecer sobre España una borrasca cerrada; si no ocurre así es un *seno* o *vaguada* de bajas presiones. Su origen es el calor y no una ondulación del frente polar como ocurre en las borrascas corrientes. Son «bajas térmicas» o «borrascas térmicas». Por sí solas son incapaces de producir otra cosa que tolvaneras y sensación de bochorno; a no ser que el calor sea excesivo y surja algún núcleo tormentoso aislado. Pero si tal situación coincide con el paso por altos niveles de la atmósfera de un *vaguada fría* de las que ya conocen (cap. 4), las tormen-



tas se hacen numerosísimas, sobre todo en la parte delantera de esa vaguada. Y no digamos si nos llega una «gota de aire frío» (cap. 5), porque entonces los aguaceros y granizadas son formidables.

Antes de acabar con las consecuencias de la *inestabilidad* atmosférica, hemos de citar otra más. Queda claro que en tales situaciones inestables predominan los *movimientos verticales* del aire sobre los horizontes. Éstos son los dominantes en cualquier otra situación, pero no cuando el aire es inestable. En estos casos hay regiones de ascendencia con corrientes de aire que suben; y otras de descendencia, con corrientes de aire que bajan. Los aviones lo notan perfectamente en que, alternativamente, son empujados hacia arriba y hacia abajo, sin poder evitarlo. Cuando ocurre lo último, la sensación del viajero es la poco agradable de caer en el vacío; y suele decirse, entonces, que hay *baches* en el aire. El conjunto de ascensos y descensos del avión, con estas situaciones de inestabilidad, es lo que los aviadores suelen expresar con la gráfica frase de: «Hay meneos.» Técnicamente se dice que hay «turbulencia».

Cuando ustedes observan tales situaciones en los mapas del tiempo de la TV, no hará falta que nadie les diga el pronóstico; ustedes mismos podrán decir al verlas: «Tiempo inestable en general, con riesgo de tormentas irregularmente repartidas, en especial sobre los sistemas orográficos del interior y regiones inmediatas a ellos.»

Y podrán tomar sus precauciones.

CAPÍTULO X

ASESINOS EN EL MAPA

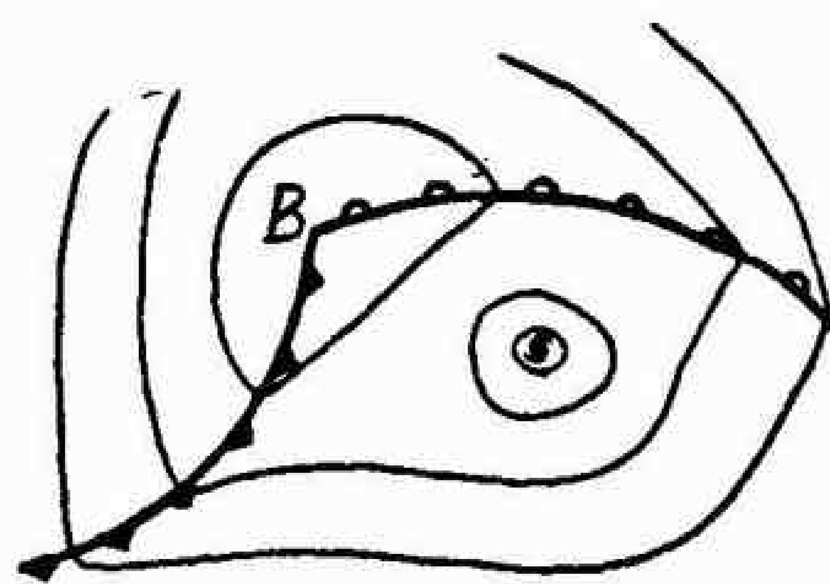
El viernes 13 de noviembre de 1980, una apocalíptica tempestad se abatió sobre la desembocadura del río Ganges, en Bangla Desh. Durante horas cayeron del cielo cataratas de agua, y violentísimos vientos que alcanzaban los 200 km por hora barrieron todo lo que encontraron a su paso. Pero lo peor fueron las enormes olas, de casi 10 metros de altura, que sumergieron la llana costa y llegaron hasta decenas de kilómetros tierra adentro. Cuando la tempestad amainó, se inició el recuento de víctimas, que finalmente sólo pudo obtenerse de modo aproximado: unos 250.000 muertos.

Quizás se sorprendan ustedes cuando les diga que los cataclismos meteorológicos como el descrito están causados por borrascas..., aunque, desde luego, por borrascas muy especiales. Las reconocerán en el mapa del tiempo por la característica distribución de sus líneas isobaras, que toman forma casi completamente circular y están, además, muy apretadas, muy juntas. Estas perturbaciones atmosféricas terribles, violentísimas, son los «ciclones tropicales»; el de Bangla Desh fue uno de los más devastadores que se recuerdan.

¿QUÉ ES UN CICLÓN TROPICAL?

Aparentemente, lo mismo que una borrasca de las que ustedes ya conocen; es decir, un área de bajas presiones, a cuyo





alrededor circulan los vientos en el llamado sentido ciclónico. Pero se diferencia de ellas en varias cosas:

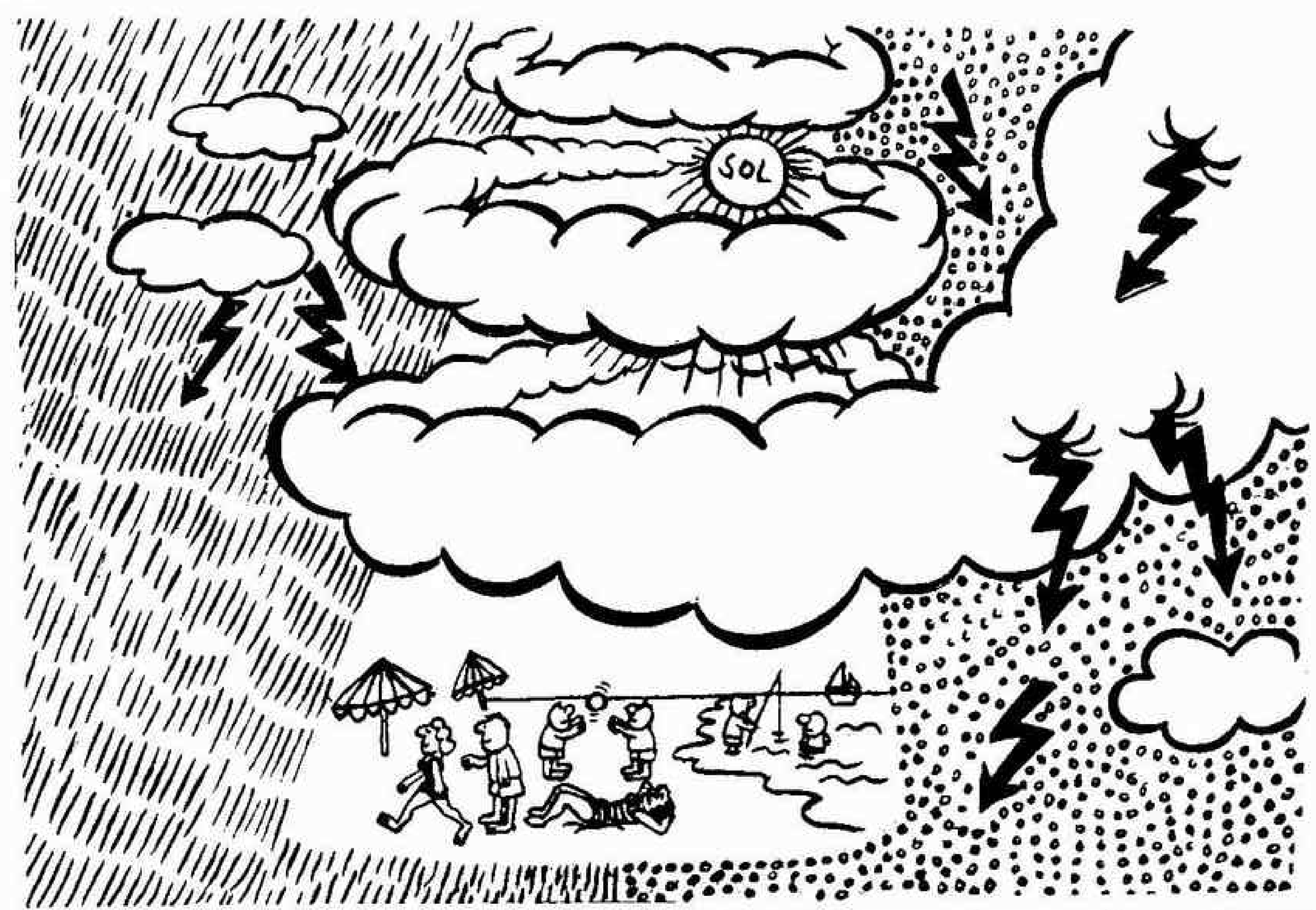
— Siempre aparecen, como su nombre indica, en latitudes muy bajas, muy cercanas a la zona ecuatorial; nunca en las latitudes medias, a las que, si llegan, lo hacen ya debilitados y en forma de una borrasca vulgar aunque sin frentes; ya que todo el aire que las forma y las rodea es aire caliente. En ocasiones aparecen dentro del sector cálido de otra borrasca (ya en las latitudes templadas), dando un extraño aspecto al mapa del tiempo.

— Su diámetro es, por término medio, de unos 500 kilómetros; el de las borrascas es del orden de los 2.000.

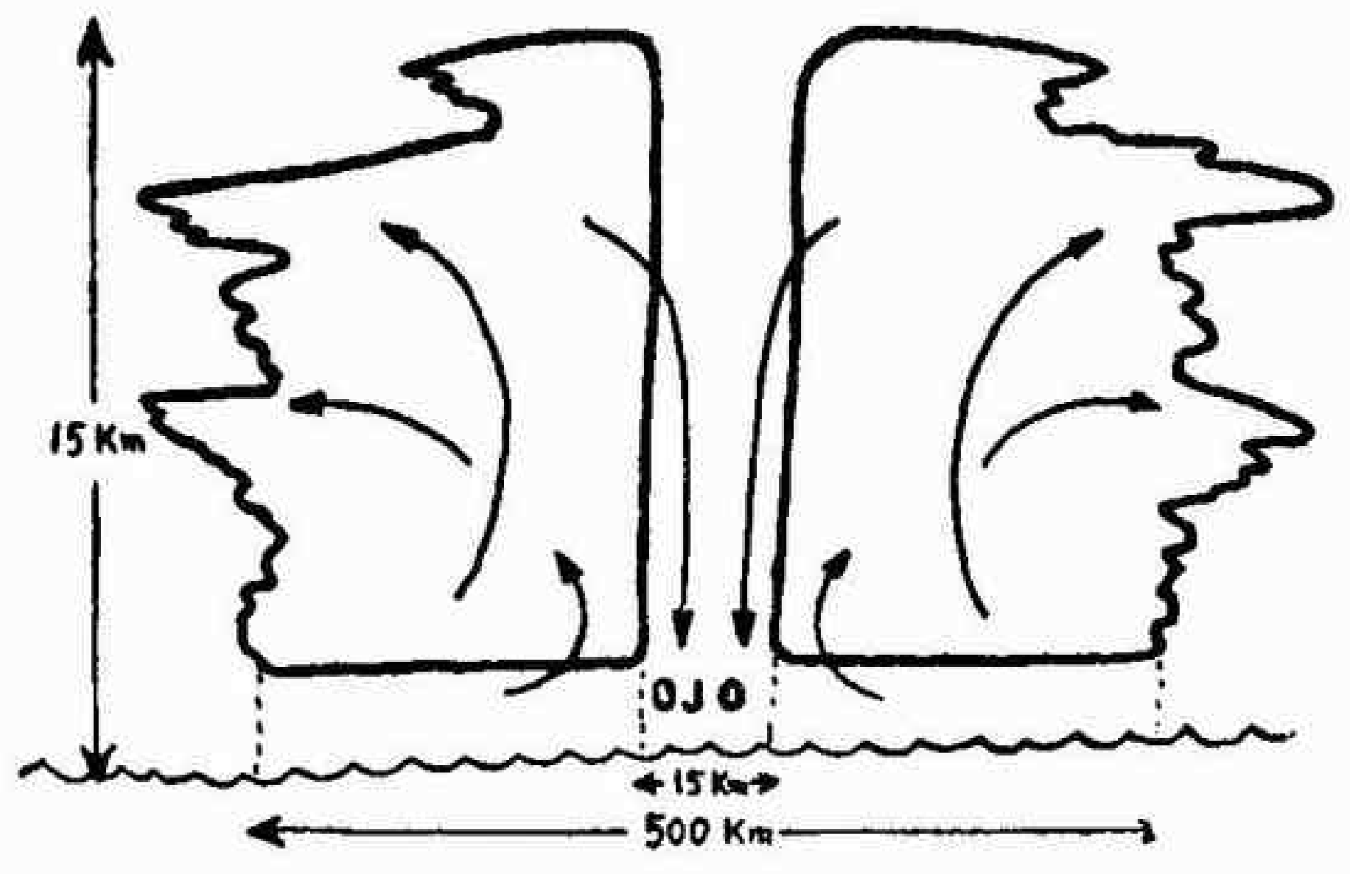
— Carece de frentes. Su estructura es la de una espiral nubosa, que da vueltas alrededor de una pequeña área en la que el viento está en calma, el cielo despejado y tiene un diámetro de unos 15 ó 20 kilómetros: es el «ojo del ciclón». Sobre él, para identificarlo, se dibuja en el mapa del tiempo una especie de S que recuerda la estructura en espiral antes dicha.

— Los fenómenos son muchísimo más violentos en los ciclones que en las borrascas. Las nubes —cumulonimbos y nimbrostratos— casi siempre alcanzan con sus cimas los 15.000 metros de altitud; las lluvias son torrenciales; los vientos, huracanados, son del orden de los 150 kilómetros por hora y, a veces, pasan de los 300. En las borrascas corrientes son rarísimas las veces que llegan a los 100 kilómetros por hora.

Con estos datos ya pueden identificarlos en el mapa del tiempo y tener una idea de lo que pueden dar de sí. En cuanto vean una depresión atmosférica en latitudes bajas del océano (siempre nacen sobre el mar), de tamaño más bien pequeño y



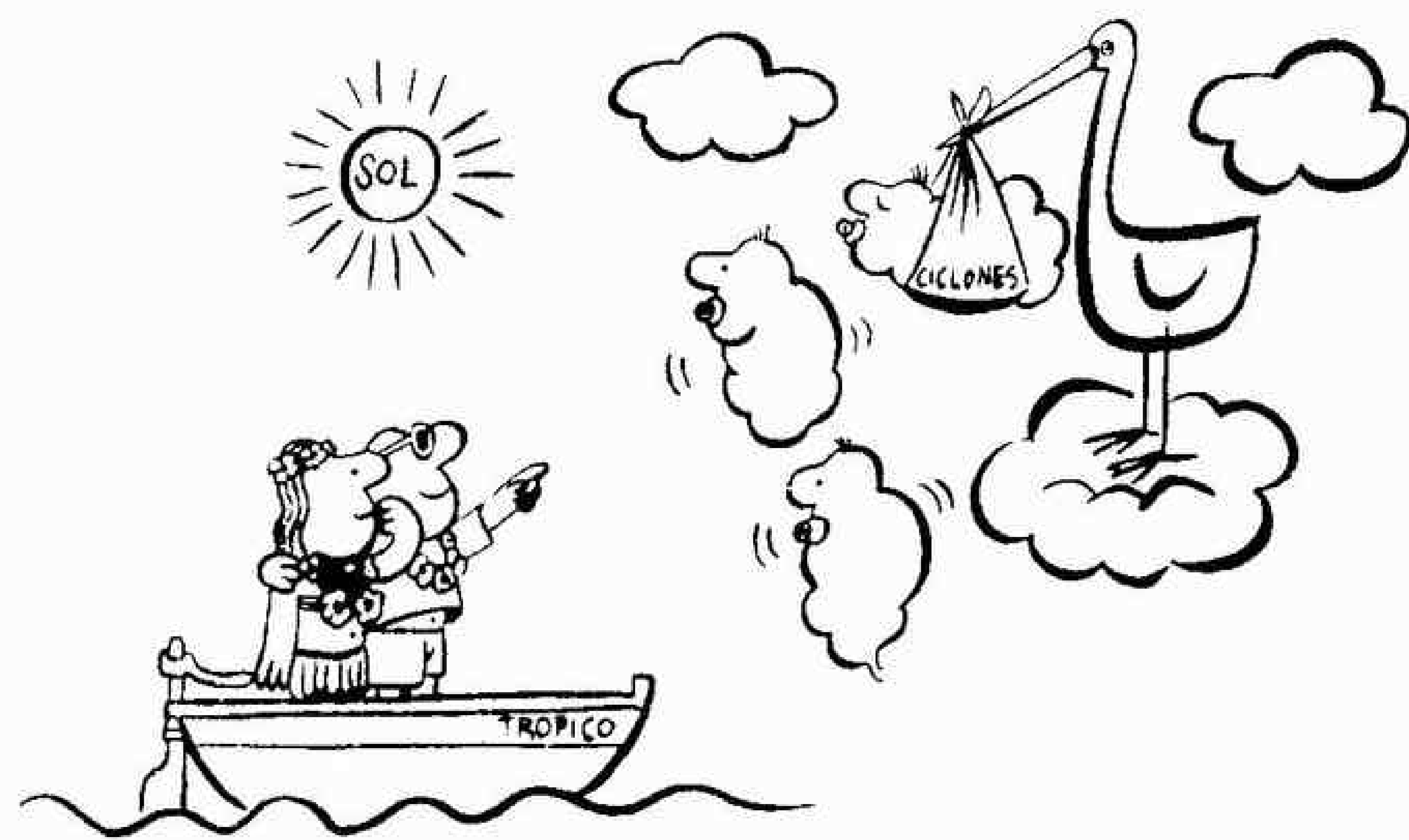
delimitada por isobaras casi circulares y muy juntas..., pónganse en guardia si viven dentro del área que suelen recorrer los ciclones: están frente a uno de estos feroces asesinos de la naturaleza, de algo que recuerda a los terremotos, pero en el seno del aire, de un verdadero «aeromoto», por llamarlo de algún modo que recuerde al terremoto.



También hay, en esas latitudes intertropicales, depresiones barométricas que no son «ciclones»; se las llama «depresión tropical» si el viento no supera los 20 nudos (36 kilómetros por hora); «borrasca tropical» si se superan los 20, pero no los 65 nudos (118 kilómetros por hora). Sólo si se superan los 65 nudos se trata de un verdadero ciclón. Éste se diferencia fundamentalmente de los otros dos tipos de perturbaciones citadas en que *tiene ojo cálido* con aire descendente y cielo despejado en su interior; mientras que las otras tienen un «ojo» *frío* y relleno de nubes tormentosas, es decir, que no es un «ojo» o abertura. En nuestra opinión un ciclón tropical está formado por dos perturbaciones menores, dos borrascas tropicales muy próximas entre sí: el aire asciende por el interior de cada una, enfriándose y formando nubes tormentosas; y desciende por el espacio que queda entre ambas, calentándose en el descenso y disipando las nubes, originándose así el «ojo» cálido, despejado y sin viento horizontal. Este «ojo» no tiene, pues, por qué ser una chimenea cilíndrica.

LOS «NIDOS» DE CICLONES

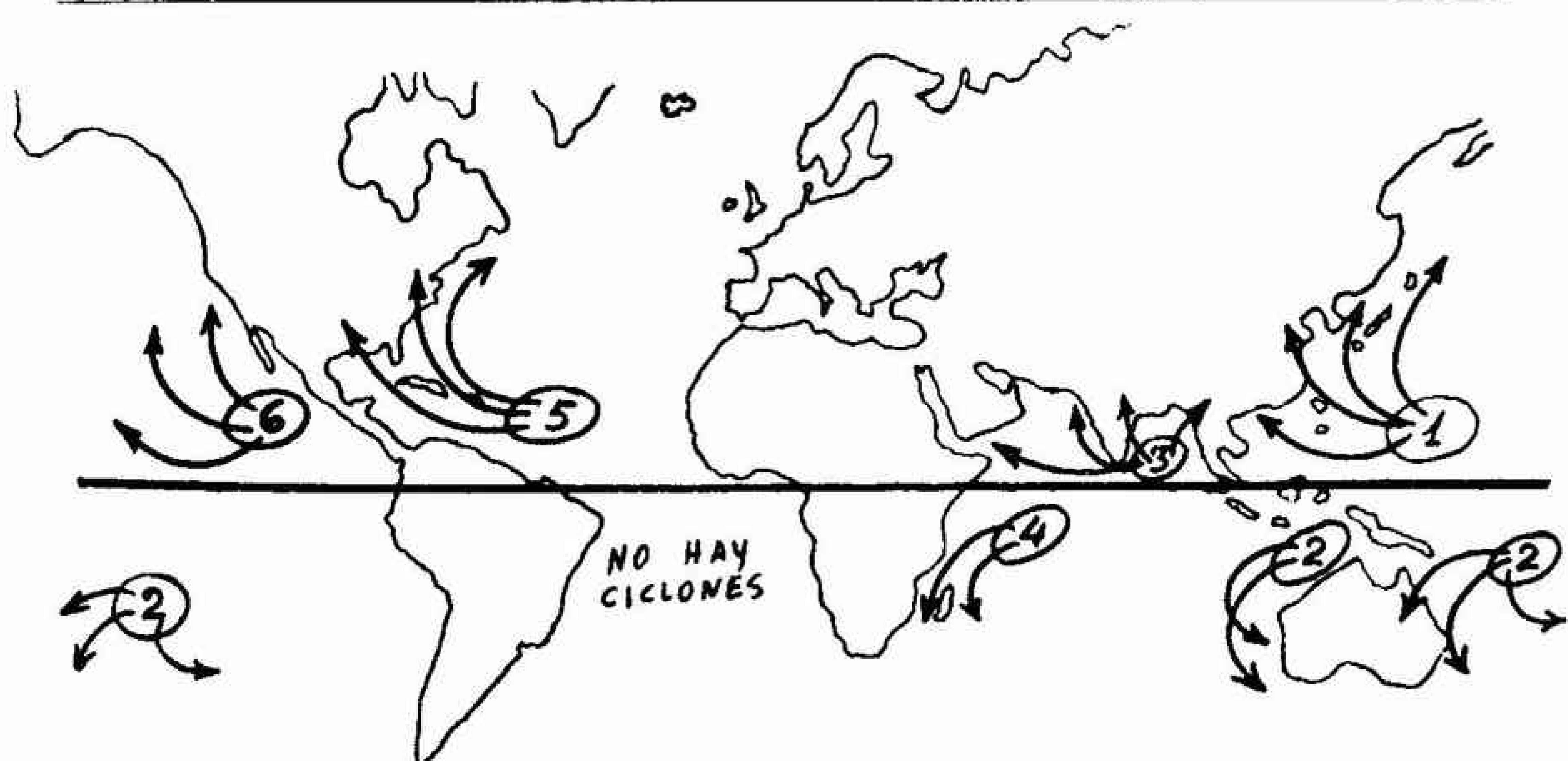
Igual que los famosos bucaneros y filibusteros del siglo XVII, que se ocultaban en islas más o menos apartadas del Caribe o en las del mar de la China, para caer como lobos sobre sus presas, así los terribles ciclones que asolan campos y ciudades y destruyen barcos en la mar, tienen también lo que pudiéramos llamar sus *guaridas*. Es decir, ciertas regiones donde nacen y desde las que inician sus mortíferas travesías: son los «nidos de ciclones».



El más importante, por el número de los que *da a luz*, está en la parte suroccidental del Pacífico Norte, entre las Filipinas y las islas Marshall, con 18 *tifones* anuales, en promedio. Allí nacen los que azotan la costa china y el archipiélago del Japón, con el nombre propio de *tifones*, y los que con el nombre de *baguíos* causan estragos en las Filipinas.

Le sigue en importancia el «nido» del océano Índico meridional, donde nacen los que se dirigen al sudeste de África y a Madagascar, con un promedio de 10 *ciclones* al año.

En tercer lugar está el «nido» de las Indias Occidentales, donde se producen los famosos *huracanes*, que recorren el mar Caribe y luego se pasean por la costa oriental de Estados Unidos de Norteamérica. El número de ellos es, en promedio, de unos siete a ocho por año. Este último «nido» frecuentemente aparece mucho más hacia el este, más hacia levante, incluso más próximo a África que a América.



1: Tifones y baguíos. 2: Willy-Willies (el nido del extremo derecho del mapa es el mismo que se dibuja en el extremo izquierdo). 3: Ciclones de Arabia y Bengala. 4: Ciclones de Madagascar. 5: Huracanes del Caribe. 6: Tifones del Pacífico.

En cuarto lugar está el *nido* del Pacífico Norte, situado frente a las costas de América Central, donde se originan de cinco a seis *tifones* por año.

Por fin, están los *ciclones* que nacen en el Índico Norte y que, con una frecuencia media de dos por año, azotan los mares y las costas de Bengala y Arabia. Y los originados en el norte de Australia que, conocidos allí con el curioso nombre de *Willy-willies*, presentan también la frecuencia de dos por año.

Es curioso el hecho de que no se han registrado ciclones tropicales en el Atlántico Sur.

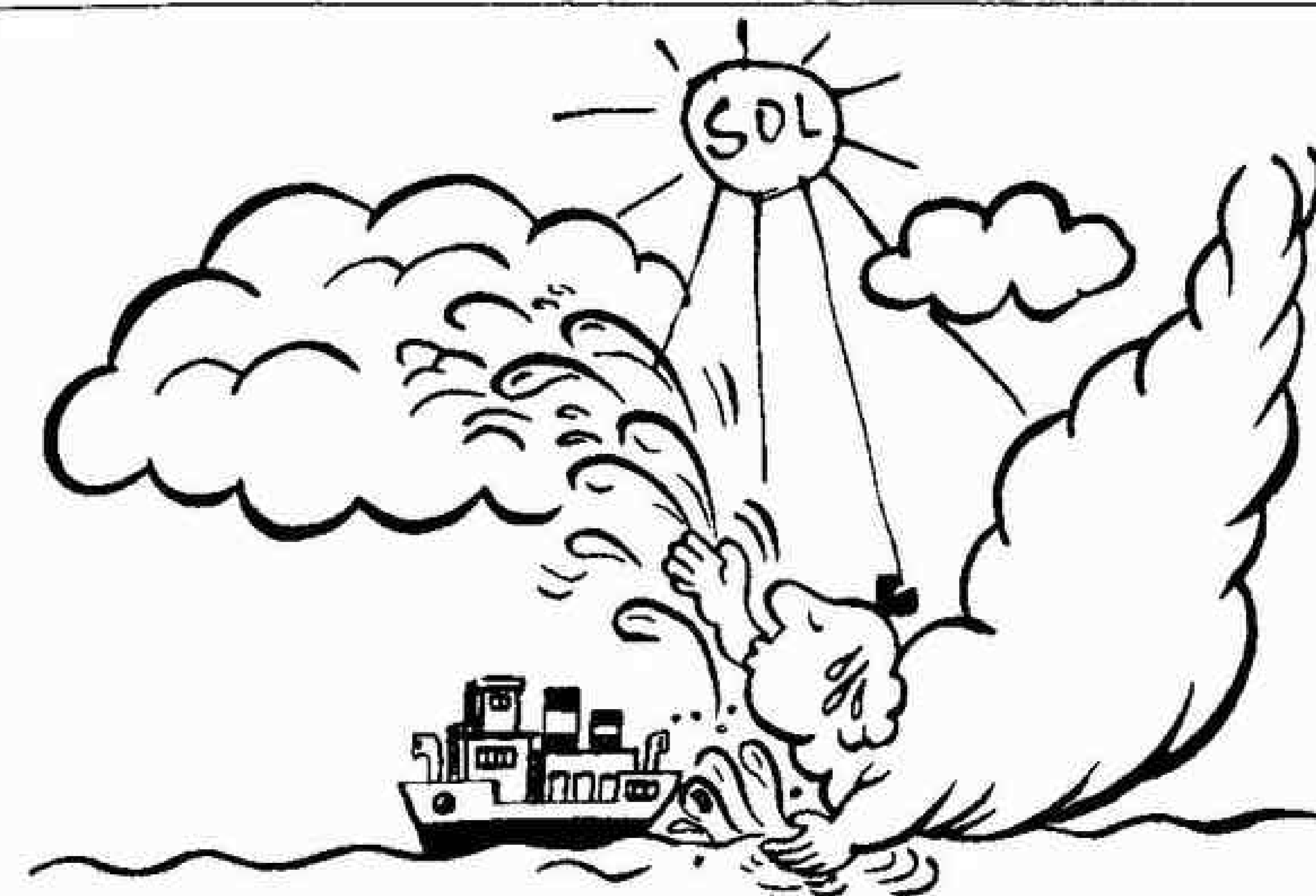
Todos los «nidos de ciclones» se encuentran, como ven, en latitudes cercanas al ecuador. Desde ellos avanzan los ciclones siguiendo un camino o trayectoria más o menos parabólico; los del hemisferio norte se curvan progresivamente hacia el oeste, luego hacia el norte y por fin hacia el nordeste. Y los del hemisferio sur lo hacen primero hacia el oeste y luego hacia el suroeste y sur. Su velocidad de traslación es muy variada: entre 100 y 800 kilómetros por día.

EL MOTOR CICLÓNICO

Un ciclón tropical, como las borrascas, no es otra cosa que un motor que convierte «energía potencial» (la que en un coche almacena la gasolina, la que en una bomba explosiva almacena la dinamita) en «energía cinética» (movimiento).

En las borrascas de las latitudes medias, dicha energía proviene del contraste de temperatura entre las masas de aire cálida y fría y de la inclinación de los frentes: es parecido a una central térmica. Pero recuerden ustedes que en un ciclón tropical todo el aire es homogéneo y muy caliente. La energía no está, pues, en el contraste de temperaturas entre dos masas de aire distintas; debemos buscarla en otra parte.

Fíjense en que los «nidos» de ciclones se encuentran siempre sobre mares muy cálidos. Para nacer un ciclón necesita lo mismo que las plantas: calor y humedad abundantes, que son la fuente de su energía. En una región oceánica cualquiera de las proximidades de la zona ecuatorial, los rayos solares caen vertical e implacablemente. Es necesario advertir aquí que el aire es «diatérmico», es decir, no se calienta directamente por la acción de los rayos solares, que lo atraviesan sin calentarlo; el aire sólo



se calienta dándole calor propiamente dicho, ya que él es incapaz de convertir la luz del Sol en calor como hacen el mar, el suelo, las plantas o los animales. Pues bien, los rayos solares calientan la superficie del mar y penetran un poco en su interior. A su contacto caliente, el aire se caldea, se evapora además gran cantidad de agua del mar. El aire, muy húmedo y muy caliente en las capas bajas, es muy ligero y grandes pompas de él comienzan a elevarse. Al llegar a su «nivel de condensación», ya citado en otro capítulo, se empieza a condensar el vapor, formando la nube y dejando libre, como ya vimos en otra ocasión, el calor de condensación que llevaba *latente*. El calor es una forma de energía (ya lo dijimos también varias veces), y esta energía, constantemente renovada, ya que sigue evaporándose agua del océano caliente, es la que pone y mantiene en movimiento al motor ciclónico.

Ustedes dirán —y con razón— que no encuentran ninguna diferencia sustancial con el nacimiento de una nube tormentosa. ¿Por qué, pues, se forma el ciclón tropical, que es bastante más que un cumulonimbo?

LA ZONA DE CONVERGENCIA INTERTROPICAL

El carburante, por sí solo, no basta para que ande un coche o —ya que estamos con ciclones— una apisonadora. Ni aun siquiera contando con las bujías que hagan saltar la chispa o con



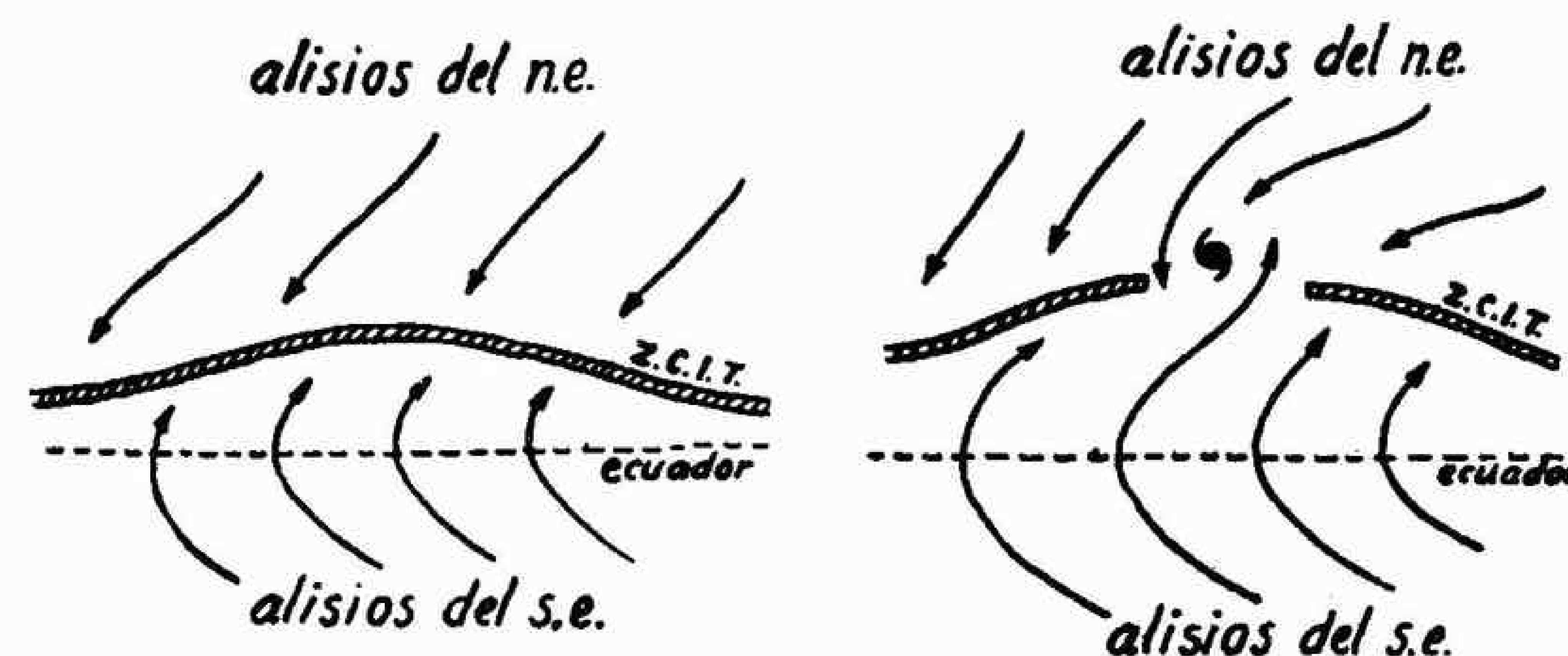
cualquier otro procedimiento que inflame la mezcla de aire y carburante. Es necesario un motor completo que convierta en movimiento la energía que hay, en potencia, almacenada en la gasolina o en el gas-oil: hace falta el carburador que regule la mezcla, los pistones que se muevan en sus cilindros y las bielas que transmitan el movimiento. El motor ciclónico empieza siendo un simple remolino.

Ustedes recordarán, sin duda, que del borde más cercano al ecuador de los anticiclones subtropicales (como del borde sur del anticiclón de las Azores, en el Atlántico, o su gemelo del Pacífico) partían los vientos alisios. En el hemisferio norte son alisios del nordeste; en el hemisferio sur lo son del sudeste. Recordarán también que ambos alisios convergen en una especie de frente llamado «frente intertropical» (FIT), por algunos, y «zona de convergencia intertropical» (ZCIT), por otros.

En el verano del hemisferio norte esta zona se localiza al norte del ecuador; en el invierno del mismo hemisferio, la ZCIT se coloca al sur del ecuador. Cuando está acabando el verano es cuando muestra más actividad generadora de ciclones. Quizá porque estando todavía bastante al norte del ecuador, es más fácil que llegue a ella algún ramalazo de aire frío aislado, que provenga de esas primeras invasiones frías que aisladamente llegan por esas fechas a las latitudes comprendidas entre 35 y 45 grados y que se traducen, en lenguaje popular, por el conocido refrán español de «En agosto, frío en rostro».

Como quiera que sea, en esta zona convergen incesantemente vientos de componentes opuestas: los alisios del nordeste tienen componente norte y los del sudeste componente sur. Sin embargo, no son de direcciones contrarias, pues ambos tienen, además, la componente este. De manera que convergen sin ser directamente opuestos, como ocurre en el frente polar. Por ello, aunque no es imposible que surjan ondulaciones que acaben en borrascas o similares, ya que los vientos son convergentes, es mucho más difícil de ocurrir que en el frente polar. Ocurre, pues, muy pocas veces, muchísimas menos que en el frente últimamente citado. Perc, eso sí, cuando ocurre, ¡échate a temblar! Un anormal empuje del alisio del norte o del sur, que rompa la simetría del equilibrio en la ZCIT, hace surgir inmediatamente el consabido remolino de aire que trata de volver las cosas a su estado de equilibrio normal, volviendo a ponerse de manifiesto el ya repetido principio de la «acción y reacción». Entonces se produce algo así como un rizo en la ZCIT, de una manera que recuerda un poco a la formación de borrascas en el frente polar.

El motor ciclónico ha surgido y se pone en marcha inmediatamente. Ahora sólo es necesario que no falte el suministro de energía, que no falte el *carburante*. Y no falta, porque el resto del proceso es ya continuo: el fuerte calor de esas latitudes eleva toneladas de agua del mar en forma de vapor que, al condensarse arriba en nubes, pone en libertad todo el calor que había cogido abajo. La energía puesta en marcha por este proceso *supera a la de muchísimas bombas atómicas juntas*. Aún así, lo que ha nacido es una simple *depresión tropical* que puede llegar



a convertirse en *borrasca tropical*, ambas de «ojo» frío como ya vimos. Sólo si dos de estas perturbaciones menores llegan a aproximarse lo suficiente para que surja una interacción entre ellas, aparece en toda su terrible potencia, el *ciclón tropical* de «ojo» cálido, con lluvias torrenciales y vientos huracanados. Y observen que todo nace de un simple *rizo* en la ZCIT: por eso, seguramente, no nacen ciclones en el Atlántico Sur, porque la ZCIT está siempre al norte del ecuador en ese océano.

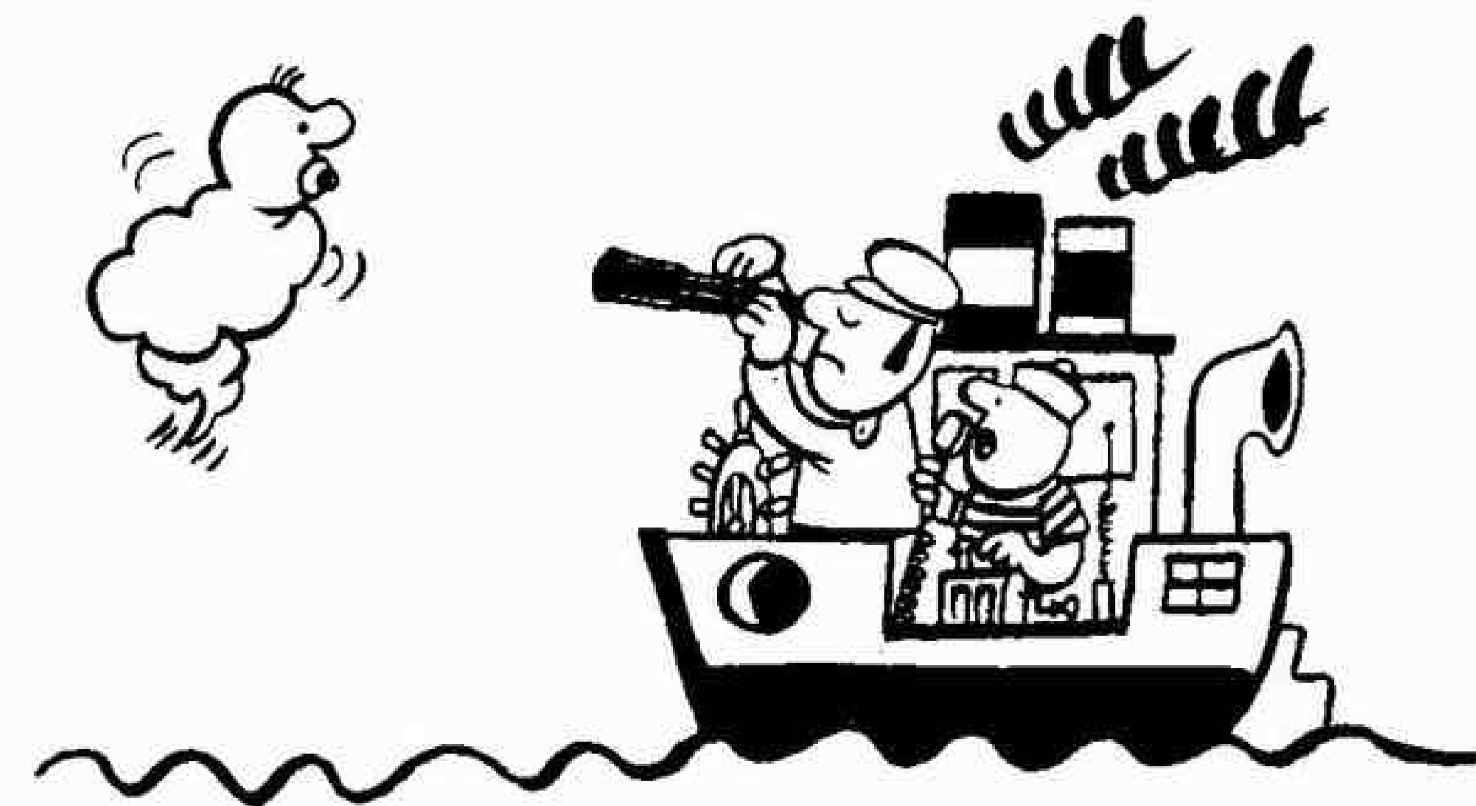
Los daños que producen estas perturbaciones atmosféricas, si no se toman a tiempo medidas de precaución adecuadas, son casi apocalípticos. Pero, ¿cabe precaverse de los estragos de un ciclón tropical?

UN «SAFARI» PELIGROSO

La primera noticia de la existencia de una de estas temibles perturbaciones atmosféricas proviene casi siempre del informe meteorológico de algún buque en alta mar. Ahora los denuncian muy bien los satélites artificiales de observación meteorológica, con sus fotografías. Ya hablaremos de ello. En general, cualquier observación de alta mar, en ciertos parajes, que denuncie vientos anormalmente fuertes, descensos muy considerables de la presión u otros síntomas por el estilo, sirve para dar la alarma a los centros meteorológicos especializados en estas cuestiones. Estados Unidos de Norteamérica dispone de una organización de alerta y previsión de ciclones tropicales, que funciona con toda la perfección que puede alcanzar una obra humana. Al primer aviso, a la primera sospecha, se organiza una verdadera *cacería*, un especialísimo *safari* en contra del ciclón. Los *ojeadores* van en potentes aviones, especialmente equipados para reconocimiento meteorológico. Su peligrosísima misión es reconocer, *a domicilio*, al ciclón, husmeando en sus interioridades, después de haberlo localizado y transmitido su situación. Por eso estos aviones son llamados corrientemente «cazahuracanes».

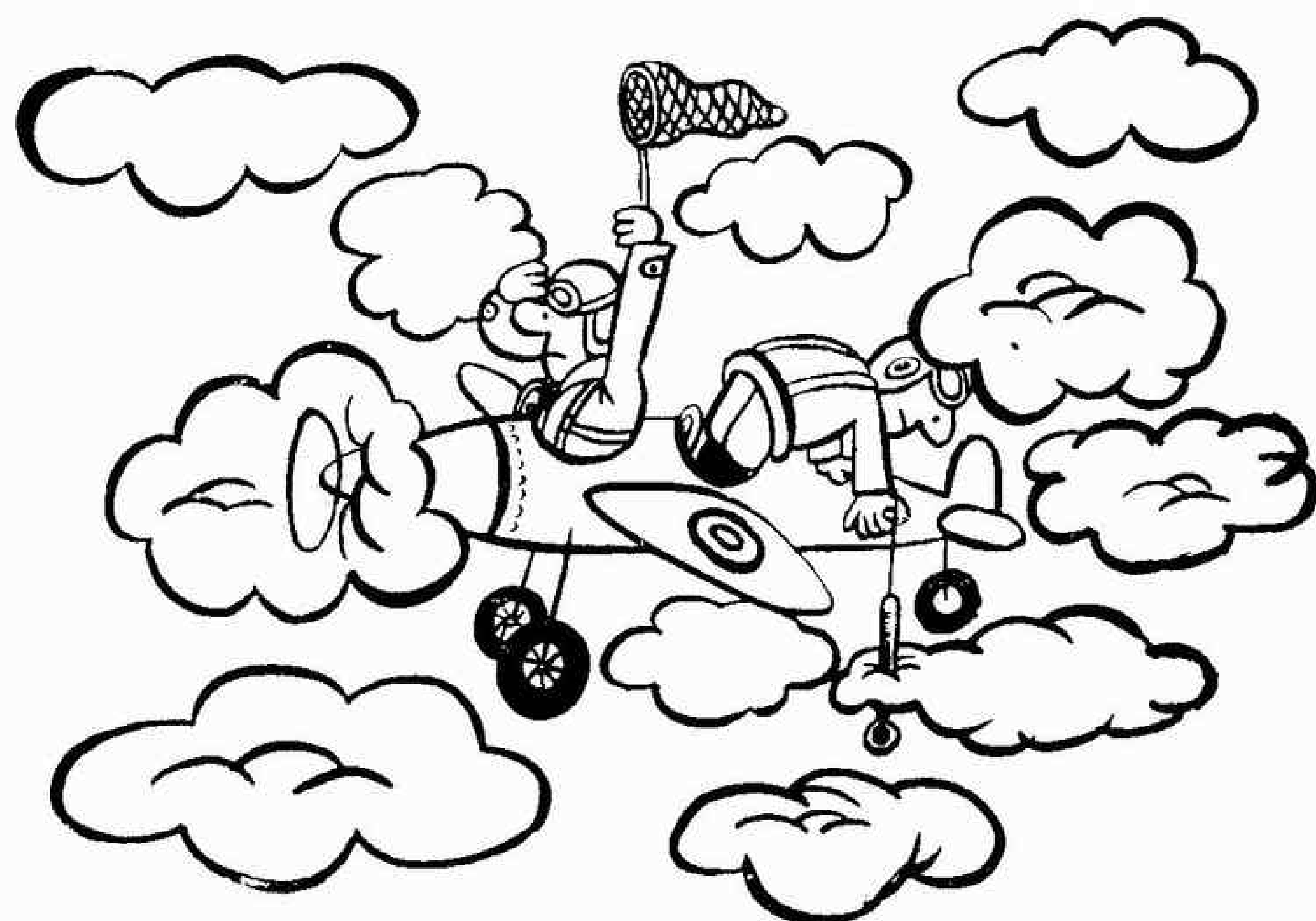
Al ciclón tropical se le bautiza inmediatamente después de ser descubierto. El nombre está preparado de antemano; anteriormente eran todos de mujer, pero, debido a las protestas de diversas organizaciones feministas americanas, actualmente se alternan con nombres de varón. Las iniciales de tales nombres siguen consecutivamente las letras del abecedario en orden riguroso, de modo que basta saber uno de ellos para conocer el número de la lista que le corresponde entre los que van aparecidos en la temporada del año que sea. La identificación es así perfecta: Allen, Belinda, Clark, Dolly... Cada año estos nombres suelen cambiarse: antes de empezar la época de los ciclones, la oficina de meteorología tropical de EE.UU. prepara la lista de nombres y la difunde. Y ustedes pueden hacer apuestas a ver hasta qué letra se va a llegar cuando vayan apareciendo los primeros. Los ciclones de Madagascar son «bautizados» en la oficina meteorológica francesa de la isla de la Reunión, con nombres de mujer, y, naturalmente, franceses: *Aline*, *Blanche*, *Corine*, *Delphine*, *Eliane*, *Françoise*, *Geneviève*, *Hermina*, *Iseult*, *Jane*, *Katia*, *Louise*, *Michele*...

INICIACIÓN A LA METEOROLOGÍA



Bautizado el ciclón, los aviones «cazahuracanes» lo buscan, lo miden, lo estudian en una lucha cuerpo a cuerpo con él. Con los datos por ellos suministrados, y a la vista de los sucesivos mapas del tiempo, los centros meteorológicos logran determinar su extensión, su estructura y su posible trayectoria. Penetran los audaces aviadores en la espiral nubosa a baja altura y luego suben, atacando al viento en ángulo recto. Cuando éste es superior a los 130 kilómetros por hora, tratan de navegar con viento en cola. Pueden imaginarse los atroces «meneos» del avión, las ráfagas huracanadas de viento, las precipitaciones torrenciales con que se encuentran. Algunos de estos valientes aviadores han dejado sus vidas en el cumplimiento de tales misiones.

Al alcanzar el centro u «ojo» del ciclón, el panorama cambia. El cielo aparece despejado y la sensación es de encontrarse en



un oasis, o quizás en un pozo tranquilo cuyas paredes son nubes impresionantes. La existencia del «ojo» se debe a la presencia de corrientes descendentes en el centro de la perturbación, que disipan las nubes. Recuerdo haber leído el caso de un barco cuya tripulación tomaba el sol en cubierta, aunque el buque bailaba..., mientras pocos kilómetros a su alrededor rugían, desencadenadas, las furias del viento, la lluvia y la mar. El barco, naturalmente, ocupaba el «ojo» del ciclón. Nuestro «cazahuracanes» no tiene tiempo de disfrutar de ese rincón soleado; una vez dentro de él deja caer, con paracaídas, un radiosonda (*dropsonde* le llaman los americanos en este caso, porque se suelta hacia abajo, no como el radiosonda corriente que se suelta colgado de un globo que lo eleva). Este aparato mide y transmite, en su descenso, datos de presión, de temperatura y de humedad del aire, que permiten conocer la estructura vertical del ciclón. A veces, «baliza» o señala el «ojo» con un globo unido a un flotador. Es como una boya que no cesa de emitir señales con la emisora automática que lleva acoplada. Estas señales permiten localizar continuamente la posición del centro del ciclón y, por tanto, conocer su trayectoria.

Otra de las misiones de los «cazahuracanes» es tomar, a intervalos fijos de tiempo, observaciones meteorológicas de presión, temperatura y humedad, cantidad y altura de las nubes, dirección y fuerza del viento, tipo de precipitación, etc., que se radian inmediatamente a los centros correspondientes. Un vuelo de reconocimiento de esta índole —y se hacen varios durante la vida del ciclón— proporciona un informe completísimo de éste.

El enemigo está ya desenmascarado. En los mapas del tiempo se sigue su trayectoria. La radio y la televisión transmiten avisos periódicos. Las zonas amenazadas se ponen en guardia; los *radares* meteorológicos vigilan... Y es posible que se hayan arrancado muchas vidas y muchos destrozos de las garras del ciclón, verdadero monstruo apocalíptico.

INICIACIÓN A LA METEOROLOGÍA

CAPÍTULO XI

LA «COCINILLA»

Lo más importante, lo fundamental y de más bulto de la ciencia del tiempo, creo que ya va dicho en los capítulos que anteceden. Vamos en éste a tocar un poco algunos de los fenómenos que influyen directamente sobre el tiempo local y que son capaces de modificar para una comarca o un lugar determinados el tiempo general dominante en un país. Es eso que dicen a veces: «Pues aquí no ha llovido, aunque el *parte* dice que hubo lluvias generales», y es que circunstancias locales hicieron de ese lugar una excepción.



«Mañana llueve; no hay más que ver la *cocinilla*», dicen, a veces, personas de experiencia en un lugar. Esa *cocinilla* donde *se cuece* el tiempo local suele ser un determinado monte, o un lugar específico de la costa, o el puerto de montaña por el que la carretera atraviesa una cordillera importante. Y es frecuente el acierto. Así, en Málaga toman como referencia el que esté con o sin nubes el peñón de Gibraltar, que se divisa a lo lejos; en las rías altas de Galicia y en otras bahías del norte de España es síntoma de tiempo inseguro el que la boca de la ría aparezca tapada, por la parte del mar, con nubosidad; en las rías bajas gallegas, un bramido sordo que viene del océano dificilísimo de oír para los no experimentados, indica que se aproxima mal tiempo. En Extremadura es síntoma de empeoramiento el que aparezcan *palmeras* (son «cirros» abiertos en abanico que preceden a las entradas de aire húmedo del oeste) en el cielo al caer la tarde. En el alto Aragón, la presencia sobre el Pirineo de unas nubes de altura media de forma muy especial suele anunciar frío y viento desapacible del noroeste (cierzo). En Toledo, es anuncio de lluvia el ver nublarse la sierra de Layos. En Melilla suelen decir que «cuando el Gurugú se pone el *gorro*...», lluvia segura. La lista de ejemplos es inacabable, porque cada región, cada comarca y casi cada lugar tienen sus propios indicios locales.

El origen de tales fenómenos está, casi siempre, en una combinación de dos factores: la dirección del viento dominante y la situación de las montañas próximas.

Hay casos en que no es así; por ejemplo, yo interpreto el síntoma citado en las rías bajas como la aproximación de vientos que traen un larguísimo recorrido sobre el mar y que acabarán haciendo llover; ese rumor sordo que dicen oír algunos viejos pescadores o muy experimentados labradores —y que ya se cita en escritos de hace siglos— es, creo, la mar de fondo que se aproxima desde muy lejos y que ya oyen antes que el viento de poniente empiece efectivamente a soplar. Es cada vez más difícil de oír por el ruido ambiente de las modernas industrias; lo curioso es que hay quien lo oye desde tierra bien adentro, aunque sólo en sitios muy concretos, como si el ruido viniese de ciertos puntos de las montañas que hay al este: ¿Será, quizás, el eco del rumor de la mar de fondo, reforzado por las montañas y que sólo se logra oír desde determinados lugares apropiados?

El efecto de nubosidad, a veces como nieblas, que tapa la boca de una ría del litoral septentrional de España, puede ser

debido a un contraste acusado entre las temperaturas del aire fuera y dentro de la bahía, cuando el viento es del norte, suave, en la mar abierta y no logra penetrar en la abrigada ría, donde está encalmado y más cálido: entonces se forma algo parecido a un frente frío, justo en la boca de la ría, y es indicio de que afuera hay viento del norte, que siempre es una amenaza para el tiempo en la costa cantábrica.

Sin embargo, lo más frecuente es que los síntomas de carácter local sean determinadas nubes que aparecen en ciertos lugares montañosos. Y es frecuentísimo, por no decir completamente general, que sean debidas a un efecto de carácter especial que se conoce en el mundo de la meteorología como «estancamiento» y «foehn».

UN VIENTO EXCITANTE

El cálido viento del sur, que desde África y a través del Mediterráneo llega a las laderas meridionales de los Alpes, salva esta cordillera y alcanza el Tirol como un soplo cálido y seco que altera los nervios y provoca reacciones extrañas en las personas y en los animales, además de perjudicar notoriamente a las plantas: histeria, *horas bajas*, ataques de locura en los predispuestos, depresiones nerviosas que a veces conducen al suicidio, aumento del número de accidentes de trabajo, crecimiento alarmante de las faltas al orden público, al código de la circulación, a la moral..., suelen ser su secuela.

El fenómeno no es exclusivo de dicha región europea; muchos de los vientos locales que han adquirido renombre ocasionan efectos similares, más o menos acusados. En casi todos los países los hay; tratándose siempre de un viento (mejor si es cálido de origen) que salva una cordillera y se presenta en el lado opuesto. En el Tirol, donde primero se estudió, lo llaman «viento föhn» o, castellanizándolo, «viento foehn». Como en cada lugar se da a ese tipo de viento un nombre distinto (*chinook* en el Canadá, *berg* en el sudoeste de África, *levante* en Cádiz, *solano* en Castilla...) se reserva el nombre de «foehn» para el *efecto* que produce.

Se llama, pues, «efecto foehn» al originado por un viento que desciende por la ladera de una montaña, después de haber subido por la opuesta y remontado la cima.

Vean algunos reveladores trozos copiados del acto segundo del drama en verso «Noche de *levante* en calma», del que es autor don José María Pemán:

«Esta noche se destemplan
los nervios y las guitarras.
Los locos de Capuchinos
verán, desde su ventana,
esta noche, por las nubes,
pasar, cantando, muchachas.»

....

«Estas noches son las noches
que ocurren las cosas malas.
Los tiros por las esquinas,
las parejas que se escapan,
los que se tiran, cantando,
por la muralla.



Y las que dicen calumnias.
Y las que dan puñaladas...»

«Y nadie tiene la culpa:
La tiene el levante *en calma.*
Cañaílla, que destempla
los nervios y las guitarras...»

Éstas son, magistralmente descritas por Pemán, las consecuencias del «efecto foehn», que en Cádiz —donde transcurre la ficción del drama— aparece cuando el viento dominante es del este, el «levante», que llega a las tierras gaditanas tras haber salvado la cordillera del Atlas en el norte de África y, ya en la península, las sierras de Ojén, del Niño y Blanquilla; o, en ocasiones, la serranía de Ronda, la sierra de Libar y las de Ubrique y Cabras. El efecto es mayor si el aire fluye tan despacio que no hay ventilación, al no soplar viento: es el *levante en calma*. Del que dice también Pemán:

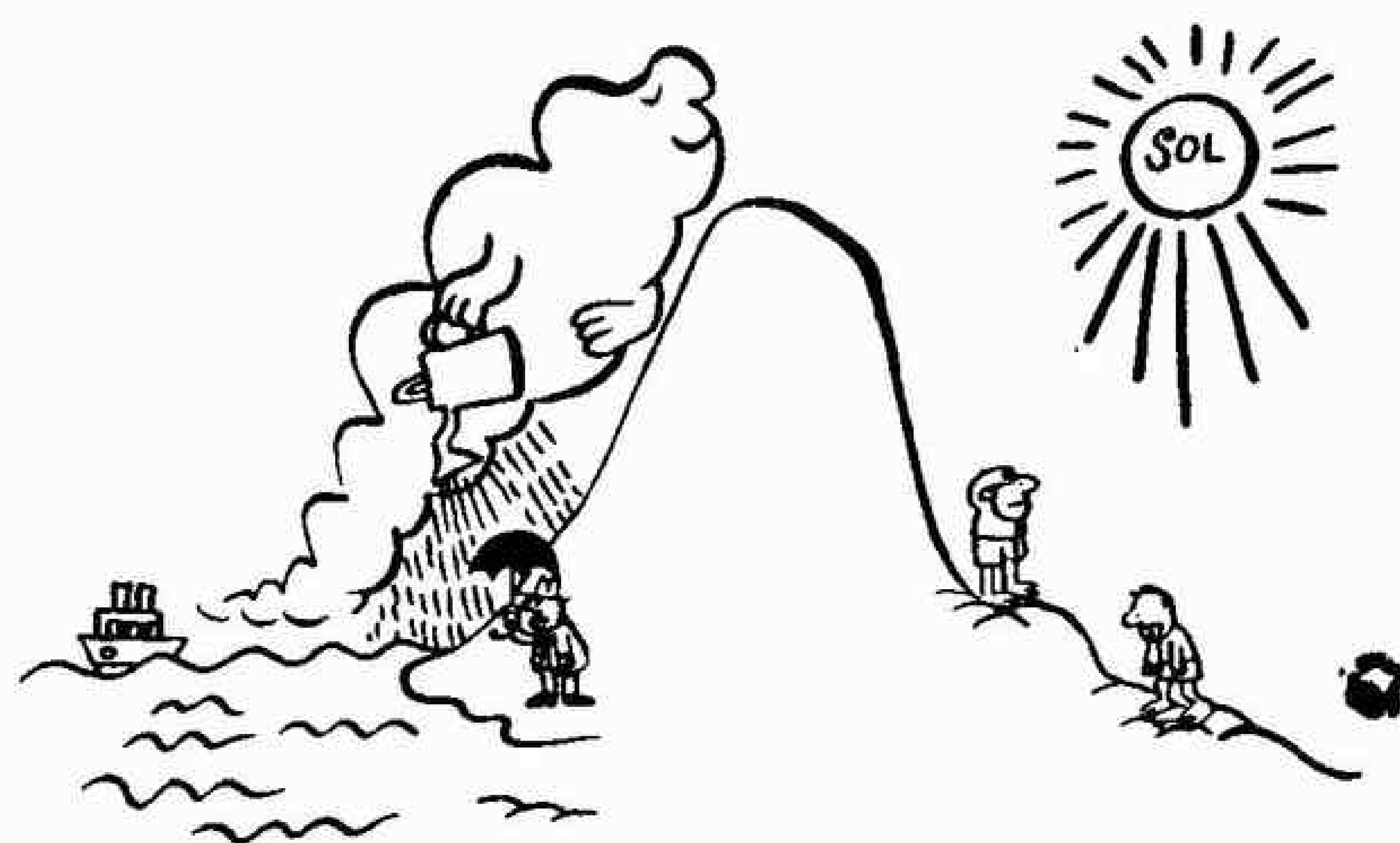
«Cañaílla ¡mala noche!,
¡levante en calma!
La noche parece un homo
de fragua.»

....

«Malo es el levante fuerte,
pero... ¡ay!, que el levante en calma...
Es un viento encadenao
que forcejea y no acaba
de soltarse...»

«ESTANCAMIENTO» Y «FOEHN»

Acabamos de ver lo que es el efecto «foehn». Pero, cuando ocurre, hubo previamente otro efecto: el de «estancamiento». Ambos son como el anverso y el reverso de una misma medalla. Cuando el viento fluye hacia una montaña, asciende por la ladera contra la cual incide (ladera de barlovento). En el ascenso se enfría hasta alcanzar su nivel de condensación, a partir de cuya altitud se forman las nubes, que crecen hasta la cima y la



remontan como una visera al tratar de seguir al aire en su descenso por la ladera opuesta (ladera de sotavento). Esa nubosidad está allí, perenne, mientras no cambie el viento; y de ella se desprenden lluvias intermitentes o lloviznas: son la nubosidad y las lluvias «de estancamiento». Si el aire es muy húmedo, el estancamiento se forma en las primeras rampas de la ladera; y si sopla directamente del mar, puede formarse en la misma costa. Tal fenómeno es frecuente en la vertiente Cantábrica española, con viento de componente norte; en el litoral Mediterráneo con viento del este; en la Galicia occidental con la componente oeste; y en el litoral del golfo de Cádiz con viento sur.

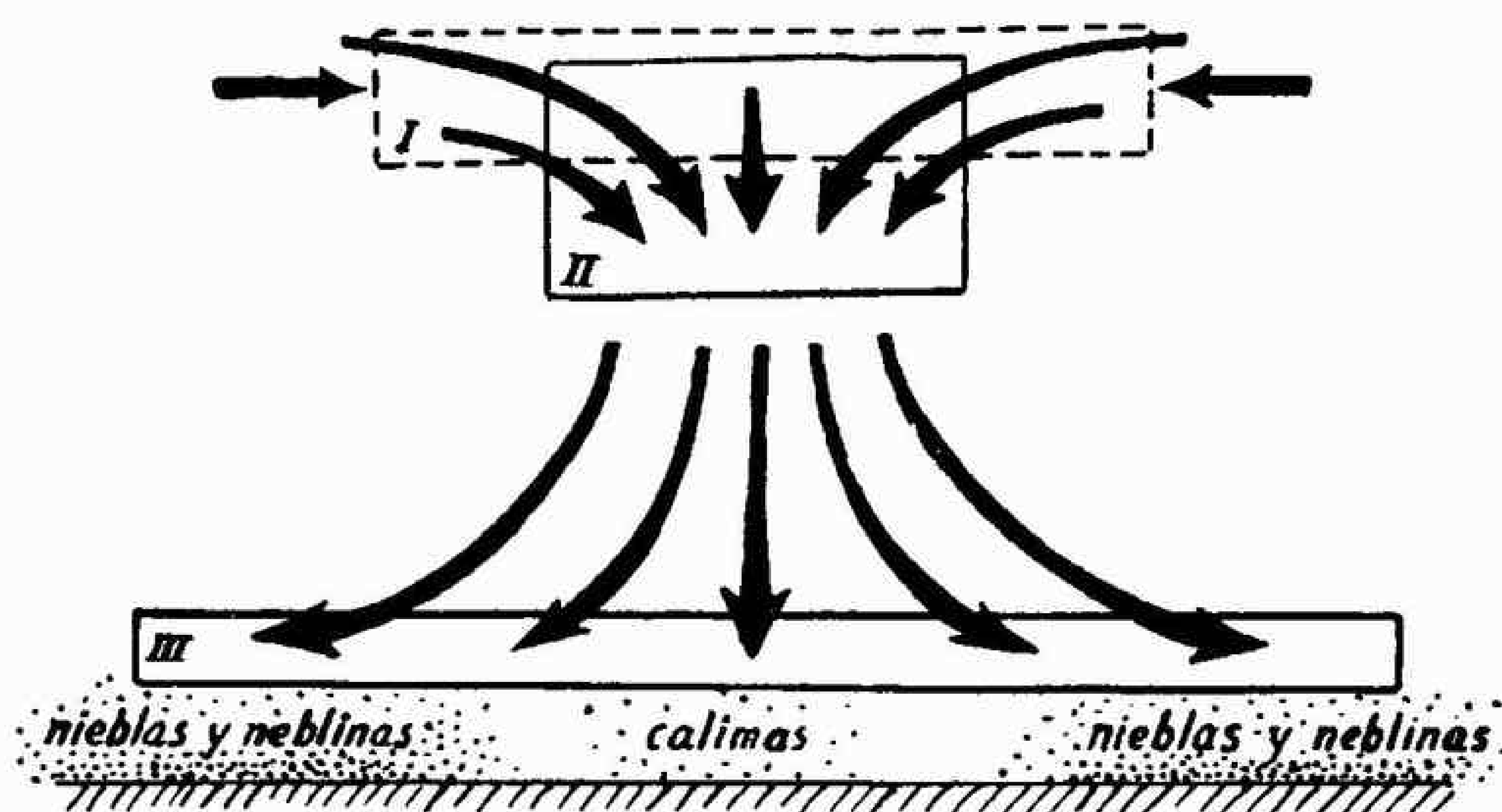
Al comenzar la condensación en el aire que asciende, éste ya no se enfría tan deprisa (ya lo vimos en el cap. 9), debido a que el vapor de agua deja, al condensarse, calor en libertad. Este calor lo absorbe el aire, de manera que en vez de enfriarse a razón de 10 grados por cada 1.000 metros de elevación vertical, que es lo que ocurre cuando no hay condensación, lo hace entonces a razón de sólo 6 grados por cada 1.000 metros. El aire llega, por ello, a la cima menos frío de lo que era de esperar y, además, bastante seco, ya que casi toda su humedad la dejó en el camino. ¿Qué pasa entonces?: el aire inicia el descenso y ocurre lo contrario que al subir; o sea que se calienta a medida que baja. Como ya no se forman nubes, tal calentamiento es a razón de 10 grados por cada 1.000 metros de descenso. El aire llega, por tanto, seco y caliente al pie de la ladera de sota-

vento: es el «efecto foehn». Pero no crean que este calentamiento es cosa de nada: vean un ejemplo corriente:

Supongamos que el aire llega al pie de la primera ladera con 20 grados centígrados, de temperatura. Si la cordillera tiene una altitud de 2.000 metros, la corriente de aire húmedo se enfriará 3 grados en los primeros 300 metros de subida, quedándose en 17. A partir de entonces, más o menos, comienza la condensación y el aire se enfría a razón de 6 grados por cada 1.000 metros, lo que supone llegar a la cima con otros 10 grados menos, es decir, con unos 7 grados de temperatura. En el descenso por la ladera de sotavento, no pueden formarse nubes; y el aire se calienta en 20 grados (10 por cada 1.000 metros). El resultado es que llega con una temperatura de alrededor de 27 grados: *siete más que cuando comenzó el ascenso por la primera ladera*. Y si la montaña es más alta, mayor será la temperatura final. Y si a ello unen su extrema sequedad, resulta una sensación fisiológica de agobio. Este efecto hace que, con viento sur, tengan en la costa Cantábrica española temperaturas muy altas (a menudo las más elevadas de la península). Lo mismo ocurre con el viento este en Galicia y en Cádiz, con el *terral* en la costa del Sol; y ello hace también que con el nor-noroeste *(tramontana)* no haga frío en la costa catalana; y que con el sur alcancen Ávila y Segovia temperaturas más altas que Madrid. Este viento, recalentado y seco, que llega al pie de la ladera de sotavento de una montaña, es el que produce esos estados de excitación en personas y animales y el que puede agostar una cosecha o una plantación.

AIRE QUE SE APLASTA

Vimos a su debido tiempo que los anticiclones suelen producir buen tiempo. Lo que es debido a que, en ellos, el movimiento natural del aire es hacia abajo, descendiendo y apretándose contra el suelo. Esto impide la formación de nubes y recalienta, al comprimirlas, las capas bajas del aire. El fenómeno se conoce como «subsidencia de las capas de aire». Al no haber nubosidad, la Tierra *radia* su calor durante la noche, hacia el espacio frío. Cuando las noches son largas, como ocurre en invierno, se enfrían mucho el suelo y el aire en contacto con él. Entonces apa-



rece una capa aérea en la que la temperatura es muy baja junto al suelo y crece al ascender: es lo que se llama una «inversión de temperatura». El límite superior de esta capa actúa como una especie de tapadera que impide los movimientos verticales del aire hacia arriba; todo el polvo y los humos se acumulan debajo de ella, enturbiando la atmósfera y dando lugar a que aparezca la «calima» o «calina».

Si el aire contiene suficiente humedad, ésta puede hacerse saturante durante el enfriamiento nocturno, al no poder escapar hacia arriba el aire húmedo más ligero; y acaba formándose la niebla. Las famosas nieblas de Londres, conocidas como *puré de guisantes*, tienen su origen en este fenómeno. Todo lo cual es más fácil que ocurra en los bordes de los anticiclones, donde el límite superior de la «inversión» citada está más bajo, siendo más estrecha la capa de aire en la que están impedidos los movimientos verticales y más fácil de alcanzarse la saturación del aire contenido en ella.

En estos casos de anticiclón, si el aire es seco, se pueden producir, en invierno, heladas. Y en cualquier caso es un fenómeno que favorece notablemente el aumento de la *contaminación atmosférica* en las capas bajas; porque no solamente no hay ventilación vertical, sino acumulación de impurezas en las proximidades del suelo. Si el fenómeno ocurre en un valle donde abunden «fuentes» de humos (chimeneas de fábricas, motores de explosión numerosos...) y el anticiclón permanece varios

días, el aire llega a hacerse irrespirable y, a veces, muy tóxico, pues las laderas circundantes impiden el escape horizontal del aire junto al suelo. En cambio las borrascas hacen de chimeneas ventiladoras y purifican la atmósfera; claro que si, como suele ocurrir, se originan lluvias, éstas *lavan* el aire y se llevan la contaminación a los ríos y lagos.

PRONOSTIQUE A LA VISTA DEL MAPA

Acabamos de ver cómo los accidentes geográficos influyen en las características del tiempo en cada lugar; el estudio de esas influencias ayudará a elaborar predicciones locales sin más que «retocar» de acuerdo con dichas características las predicciones hechas con carácter general. Las influencias locales son consecuencia de la existencia o no de viento y de la dirección en la que sople, lo cual es deducible directamente del mapa de isobaras; dicho mapa es el que suele verse en los periódicos o en la TV, y en él figura la posición y configuración de las borrascas y los anticiclones y de los espacios que los separan.

LOS MAPAS DE ISOBARAS SON INSUFICIENTES

Pero es necesario advertir que este tipo de mapas *no es suficiente para pronosticar el tiempo;* da sólo una primera idea, e incluso puede servir para explicaciones «a posteriori» más o menos convincentes, pero al predictor puede llevarle a engaño muchas veces. En esos mapas está representada la situación meteorológica junto al suelo (exactamente, al nivel del mar), pero está bien demostrado, física y matemáticamente, que la evolución del tiempo depende, en forma fundamental, de lo que ocurre más arriba, en niveles más altos de la atmósfera.

Por ejemplo, los efectos locales que se originan con un determinado viento dominante pueden conducir o no a que efectivamente llueva según sea la situación en las capas altas. Así, un viento que sople del mar hacia tierra es, en principio, favorable para que se nuble y llueva en comarcas de la costa o próximas a ella; pero a veces no sucede tal cosa, o cuando hace llover puede ser en forma de simples lloviznas, o de chaparrones, o de fuertes aguaceros, o de lluvia torrencial y catastrófica, se-

gún qué configuraciones aparezcan en los mapas meteorológicos de otros niveles más altos.

Una primera norma es que si el viento en el nivel de 500 milibares circula ciclónicamente (si hay situación de borrasca arriba), será probable la lluvia al ser favorables también las condiciones en el suelo, mientras que si arriba circula anticiclónicamente, lo probable es que no llueva. Pero con esa norma no es suficiente, pues la cuestión no es tan simple; piensen que la teoría de la predicción es lo bastante complicada y tiene la suficiente entidad como para que sobre ella se hayan escrito libros enteros, llenos de complicadas ecuaciones; y que se sigue investigando y estudiando sobre la cuestión.

Actualmente, los meteorólogos suelen emplear para predecir la evolución del tiempo una ecuación físico-matemática en cuyo primer miembro figura una expresión que representa la tendencia a que el tiempo empeore o mejore, y cuyo segundo miembro consta de siete términos distintos, unos con signo más y otros con signo menos. De ellos, hay cuatro que es necesario interpretar sobre mapas meteorológicos adecuados si se quiere hacer una predicción verdaderamente «científica» del tiempo, es decir, si se quiere tener una alta probabilidad de acertar. Los otros tres términos explican ciertos efectos que se producen automáticamente según como actúen los otros cuatro, por lo que no es necesario tenerlos en cuenta para elaborar la predicción.

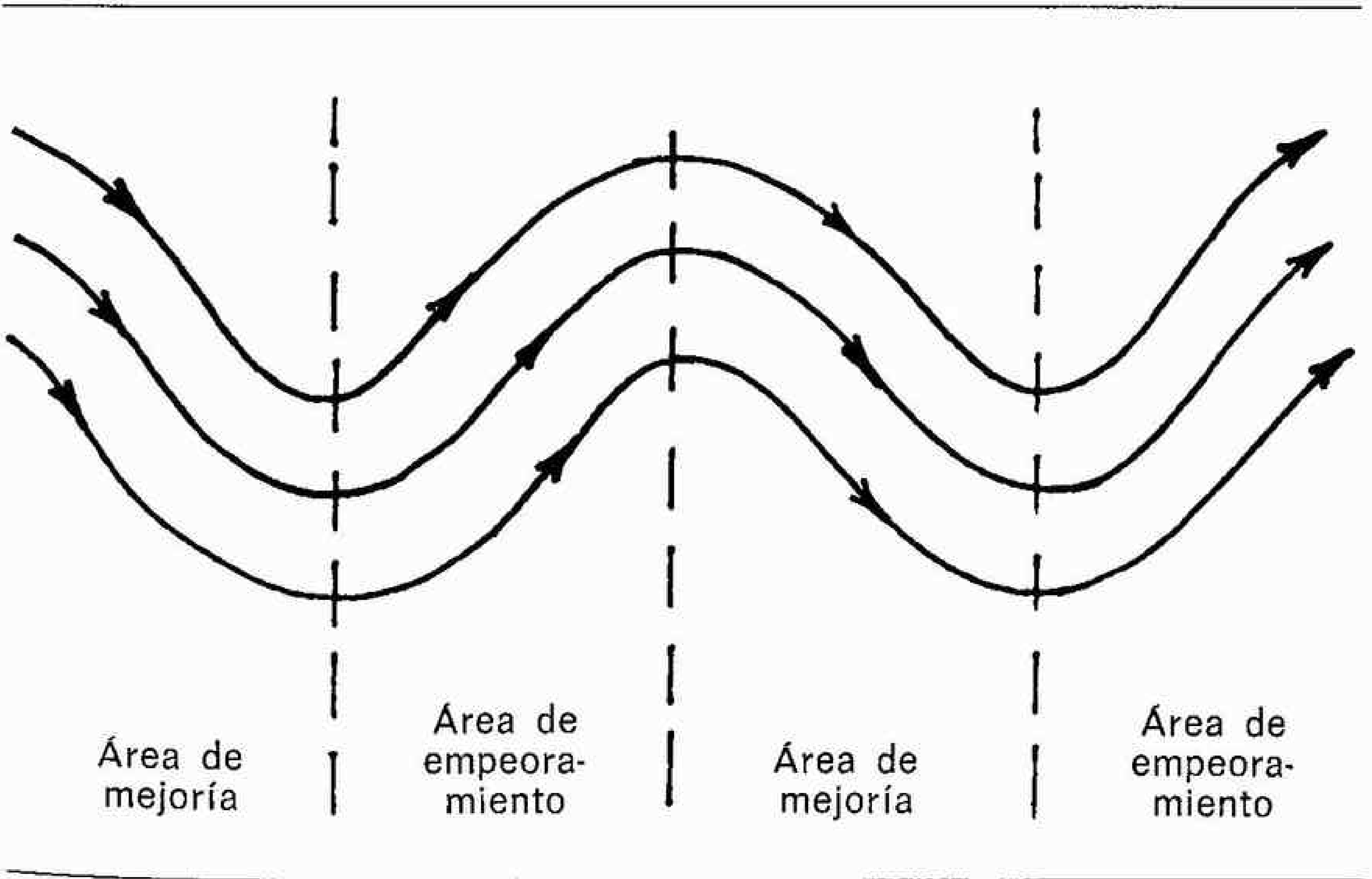
LA MOVILIDAD DE LAS BORRASCAS (Y DE LOS ANTICICLONES)

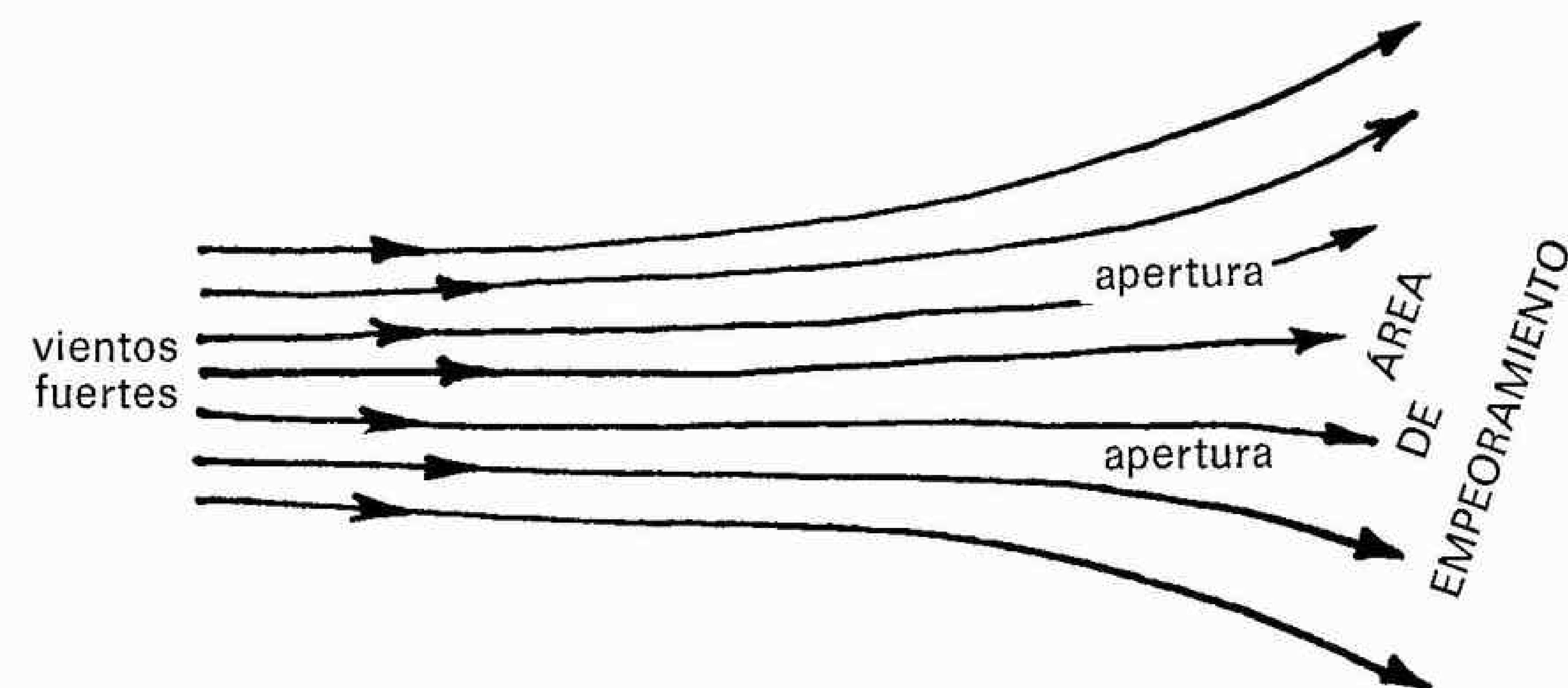
Lo primero que hay que averiguar es si la borrasca o el anticiclón que nos interesa es de carácter *móvil* o bien *cuasi-estacionario*, lo que es fácil de distinguir superponiendo el mapa de las líneas isobaras (al nivel del mar) con el que contiene las líneas isohipsas del nivel de 500 milibares: si ambas familias de líneas se cortan en ángulos grandes (el caso extremo es que sean perpendiculares), tal «sistema» es móvil; y si lo hacen en ángulos pequeños (el caso extremo es que sean paralelas) el «sistema» es cuasi-estacionario.

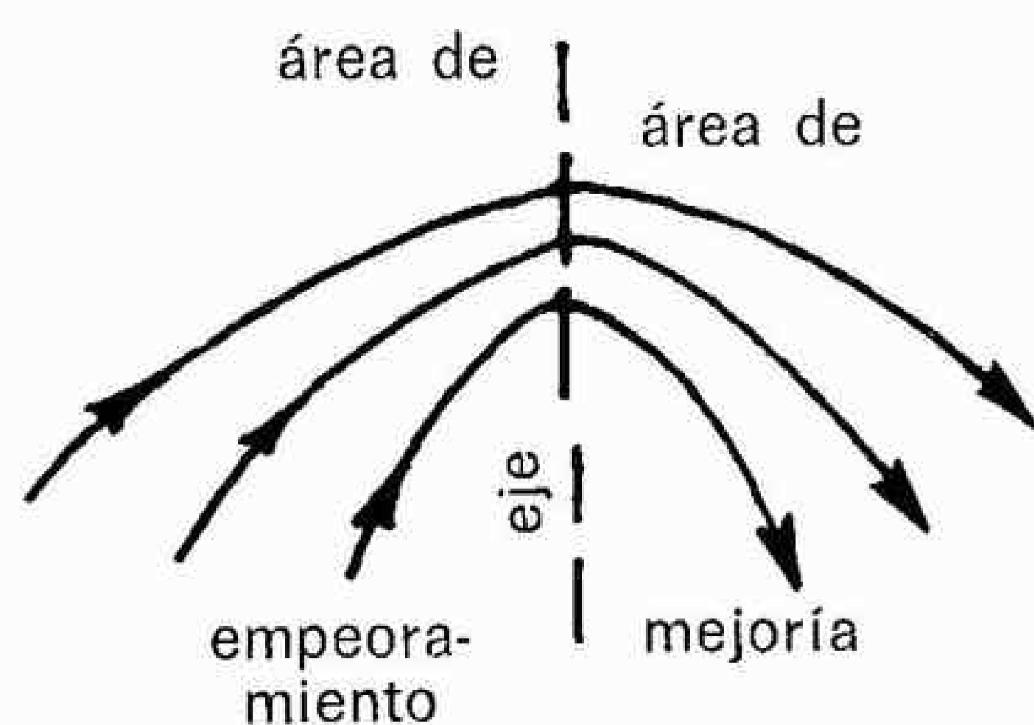
Las borrascas móviles son borrascas *cálidas* (el aire de su interior es más cálido, menos denso que el de los alrededores), mientras que las cuasi-estacionarias son borrascas *frías*; los anticiclones móviles son *fríos*, mientras que los grandes anticiclones cuasi-estacionarios son anticiclones *cálidos*. Las borrascas y los anticiclones móviles tienen su techo o cima dentro de la troposfera, a un nivel entre los 600 y los 500 milibares (4 a 5 km de altitud), habiendo encima lo contrario que abajo, es decir, un anticiclón encima de la borrasca y una borrasca encima del anticiclón. También ocurre esto último con las borrascas frías y los anticiclones cálidos, pero ese techo está muchísimo más arriba, hacia el nivel de 100 milibares (unos 16 km de altitud).

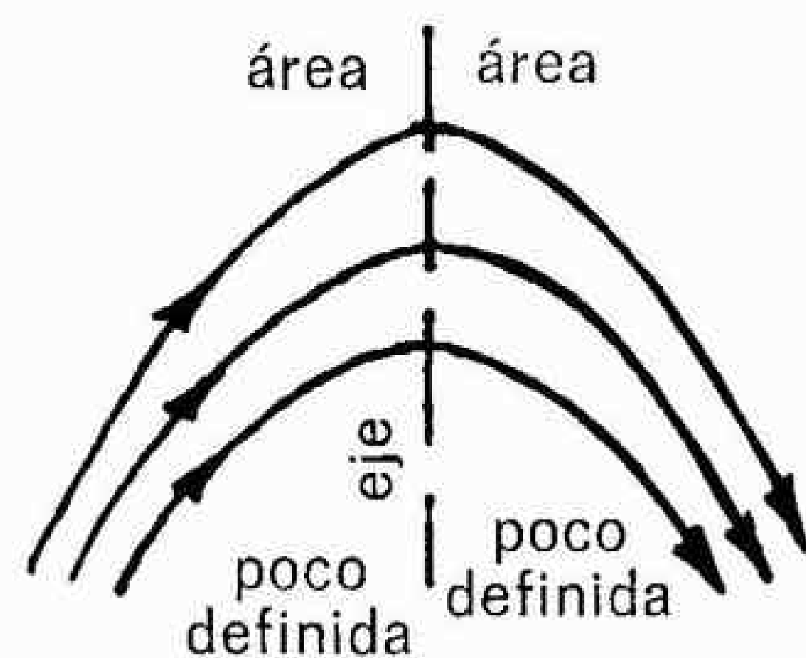
HAY QUE ESTUDIAR ESTE TECHO

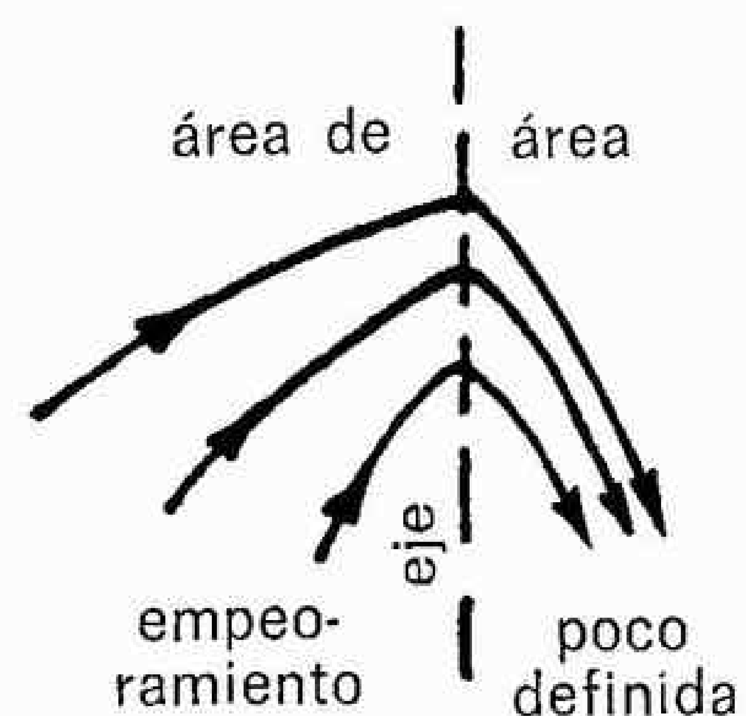
El primer término de la anteriormente citada ecuación de predicción ha de ser estudiado en ese nivel-techo de la borrasca o del anticiclón de que se trate; y según las diversas configuraciones que las líneas isohipsas presenten en dicho nivel, se deducen diversas consecuencias para el pronóstico, consecuencias que unas veces son de certidumbre y otras de duda. Para no complicarles más la cuestión, resumimos a continuación en forma gráfica las principales configuraciones y sus consecuencias para el pronóstico:

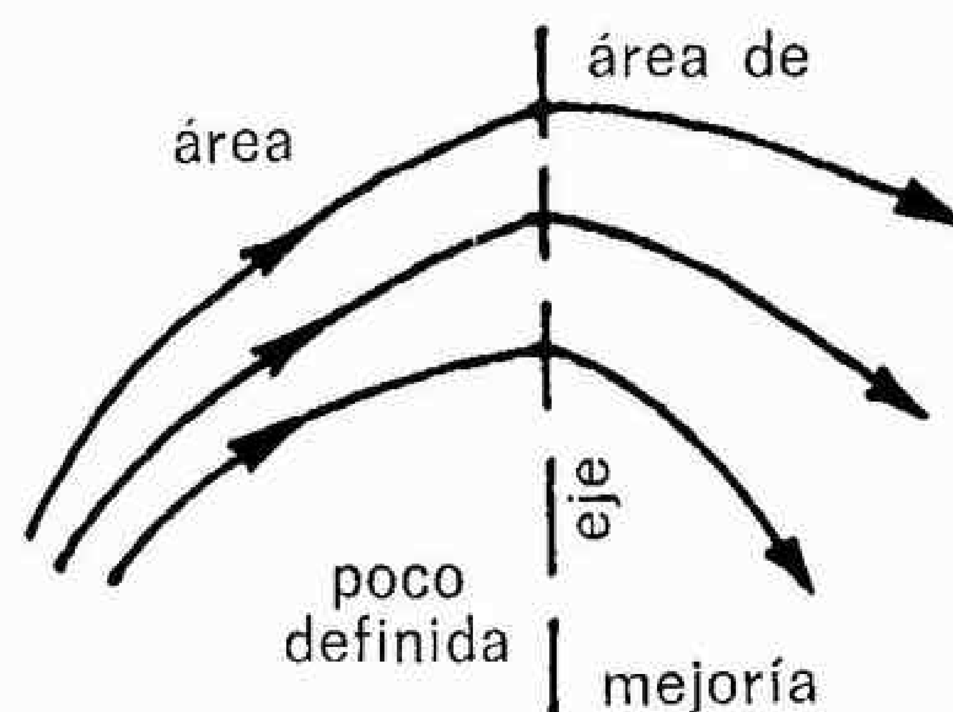


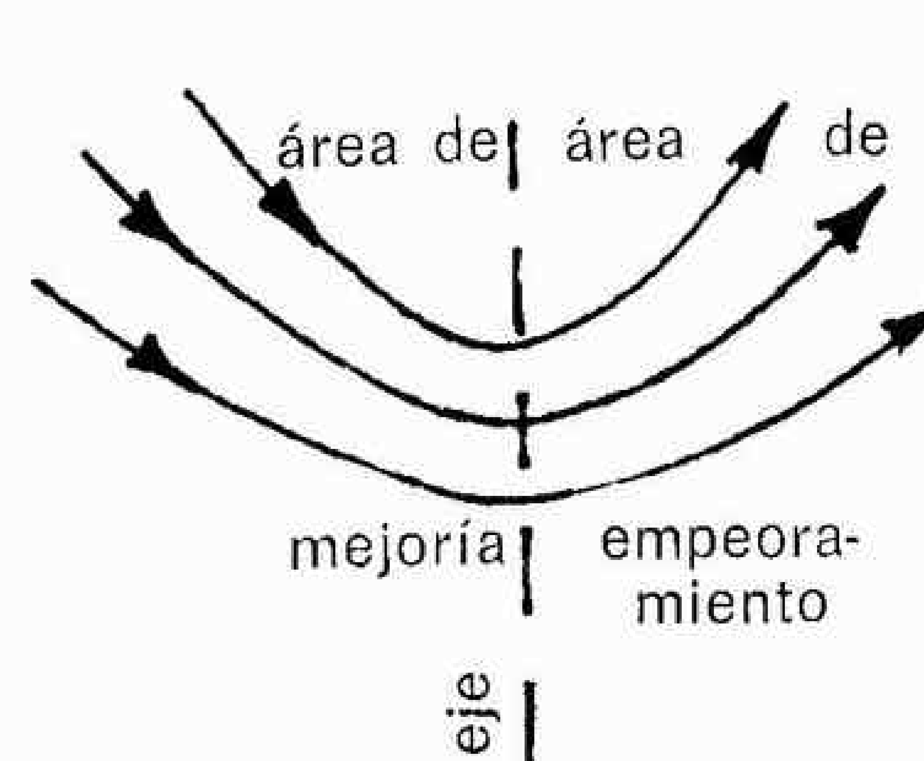


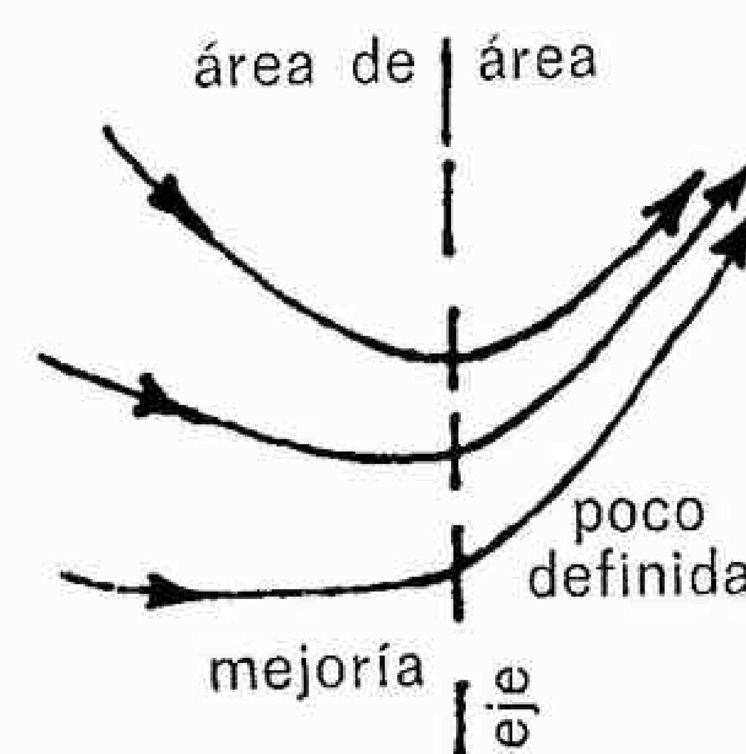


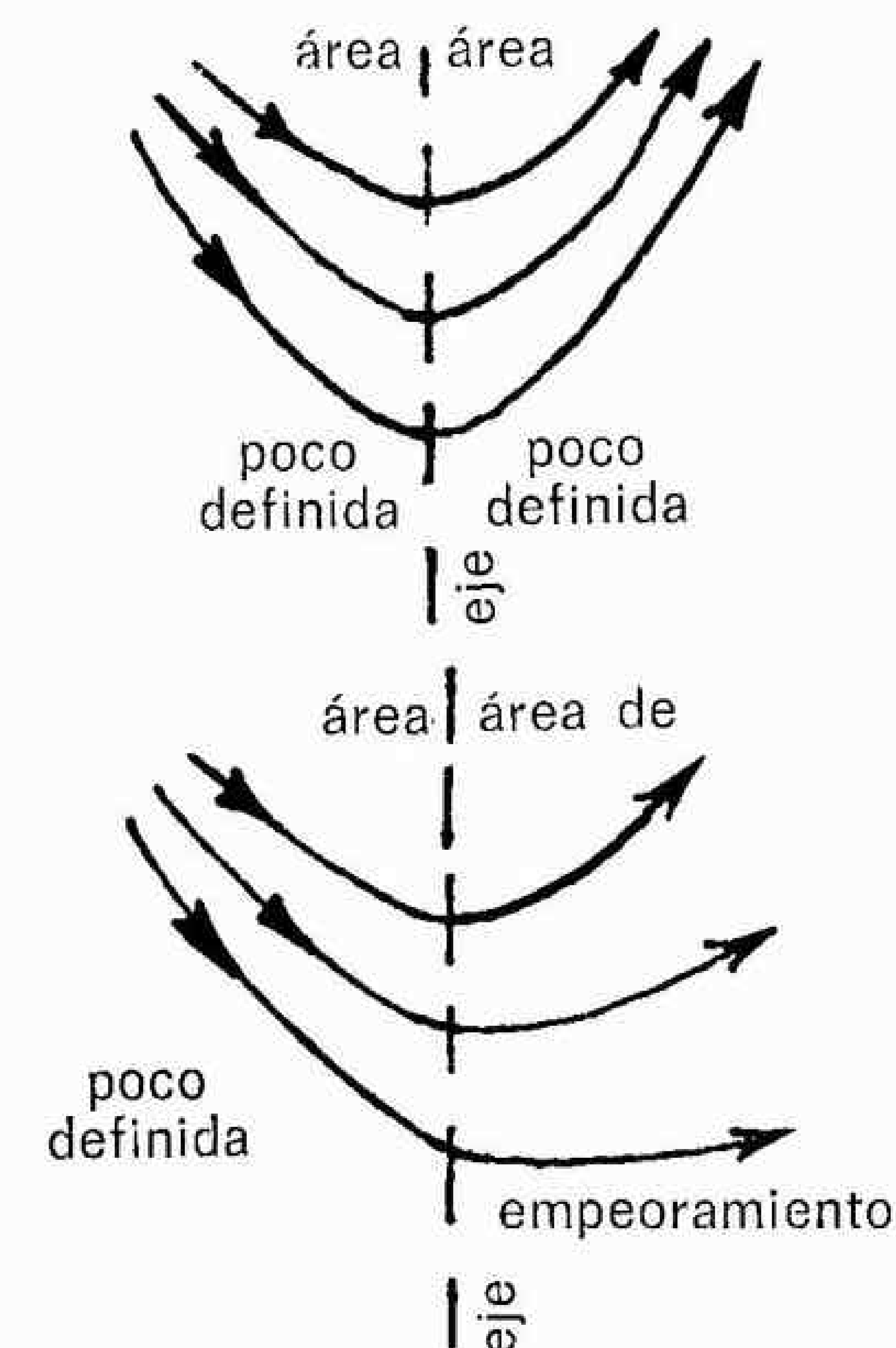








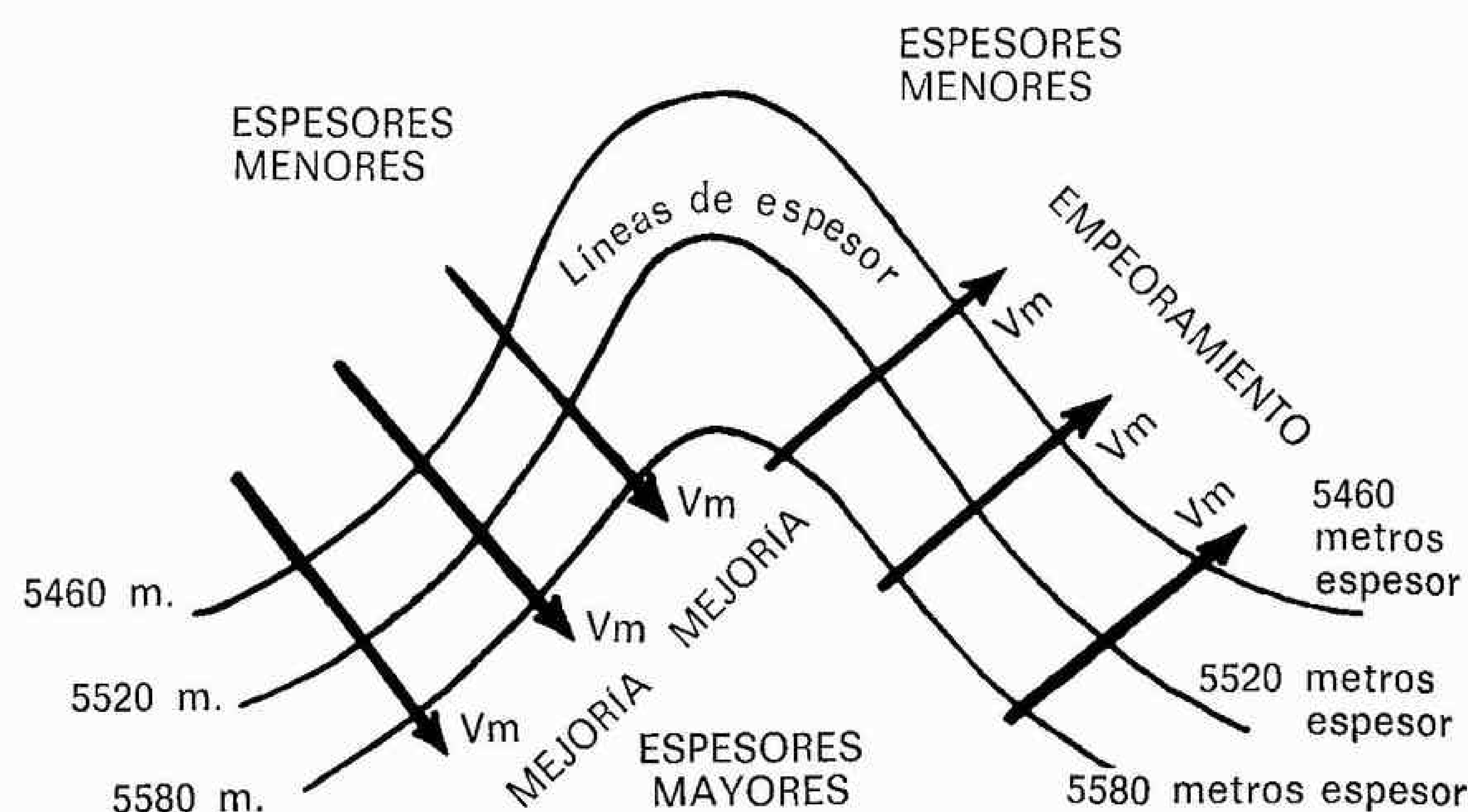




¿VIENE AIRE MÁS DENSO O MENOS DENSO?

El segundo término de la ecuación de predicción está relacionado con la posibilidad de que vaya a llegar aire más denso (y normalmente más frío) o menos denso (más templado) que el que tenemos encima. De acuerdo con lo que vimos al tratar de las topografías relativas o «mapas de espesor» (recuerden *El mapa de la verdad*), hay que estudiar dicho segundo término en uno de tales mapas, que será el de 500/1.000 milibares en el caso de sistemas móviles (borrascas cálidas, anticiclones fríos) o el de 100/1.000 milibares en el caso de sistemas cuasi-estacionarios (borrascas frías, anticiclones cálidos).

Si nos vienen valores del espesor en aumento (hacia el lugar para el que queremos pronosticar), eso significa que el aire que nos irá llegando será menos denso, más ligero y, por ello, más templado; mientras que si los valores del espesor son decrecientes nos irá llegando aire más denso, más frío. Para saberlo, basta



superponer al mapa de espesores el mapa de isohipsas del nivel intermedio correspondiente a ese espesor, es decir, el de 700 milibares en el caso de usar el de espesor 500/1.000, y el de 400 milibares en el caso de usar el de 100/1.000. Dicha superposición puede hacerse por transparencia sobre un cristal iluminado por detrás, de modo que veamos las dos familias de líneas superpuestas, las isohipsas y las de espesor. Del mapa de isohipsas se deduce inmediatamente cómo sopla el viento del nivel intermedio, que en la figura llamamos Vm: si este viento va a «introducir» (*advectar*, en lenguaje técnico) valores del espesor en aumento en el lugar para el que queremos hacer la predicción, habrá condiciones favorables a un empeoramiento, con aire más templado; pero si va a advectar valores del espesor en disminución, las condiciones serán favorables a una mejoría y a un descenso ligero de las temperaturas; y si ni lo uno ni lo otro, no influye este término en el estado del tiempo.

MAPAS MUY ESPECIALES

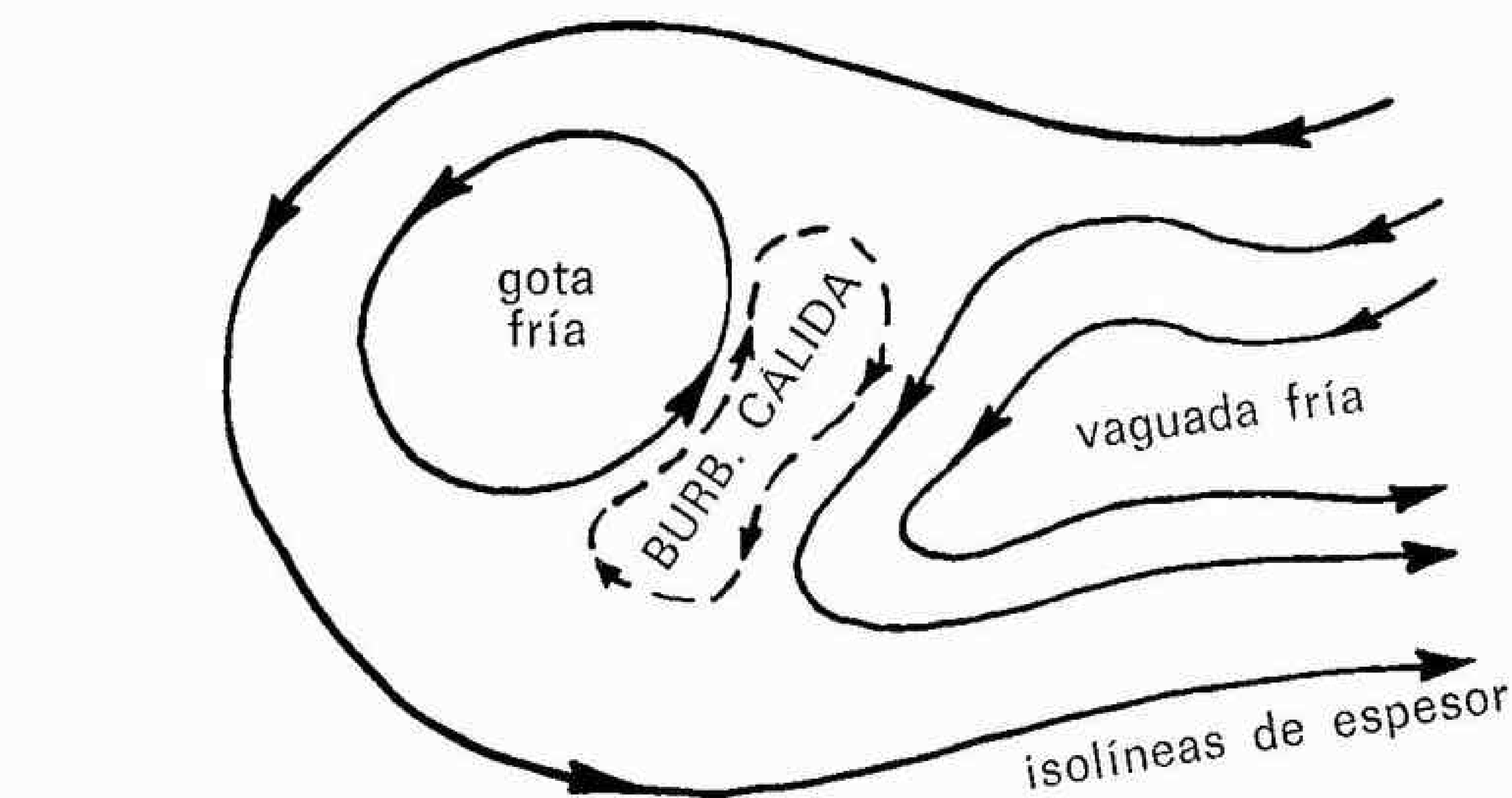
El tercer término de la ecuación de predicción es excesivamente complicado como para poderlo explicar a los no especia-

listas en pocas líneas. Se trata de ver si las condiciones atmosféricas son tales que hacia el lugar de nuestro interés vayan a ser «empujadas» (advectadas) columnas de aire cuya densidad esté disminuyendo más deprisa por abajo que por arriba, es decir, columnas de aire en creciente inestabilización. Tales columnas terminan provocando tormentas, uno de cuyos efectos es el de devolver la estabilidad a esas columnas, debiendo además ocurrir que al estabilizarse sean «retiradas» (advectadas hacia fuera) y sustituidas por otras inestables. Ello hará que la inestabilidad aumente incesantemente en el lugar afectado mientras dure tal situación, por lo que las tormentas se sucederán casi ininterrumpidamente.

No podemos explicar aquí el tipo de mapas meteorológicos que es necesario usar para la localización de los lugares en que tales fenómenos van a ocurrir, pues son notablemente complicados y se salen de las posibilidades de un libro como el que tienen en sus manos. Es más, se trata de una moderna técnica aún desconocida incluso para una gran mayoría de profesionales. Es, pues, una primicia de este pequeño libro, aunque sólo lo sea como noticia.

BÚSQUEDA DE «BURBUJAS CÁLIDAS»

El cuarto término de la ecuación de predicción expresa que la presencia de «mínimos de densidad» del aire favorece la in-



tensificación de la lluvia si alguno de los otros términos, especialmente el primero y el tercero, es favorable al mal tiempo. Tales mínimos de densidad se detectan algunas veces, en los mapas de espesor 500/1.000 milibares, en forma de pequeñas «burbujas cálidas» que acompañan a las borrascas cálidas, es decir, de carácter móvil. Estos mínimos de densidad aparecen en dichos mapas como pequeñas áreas con circulación anticiclónica que a veces no llegan ni a registrarse en el mapa, por lo que hay que deducir o intuir su presencia entre dos áreas, muy próximas entre sí, de espesor mínimo (de densidad máxima), es decir, entre dos áreas con «gota fría» o similar que tengan muy próximos uno al otro sus bordes enfrentados. La figura anterior trata de aclarar gráficamente esta explicación.

PREDICCIÓN DE LLUVIAS TORRENCIALES

La probabilidad de que descargue una precipitación en un lugar determinado —y de que ésta sea intensa— es mayor, lógicamente, cuantos más términos de los cuatro a que nos hemos estado refiriendo resulten favorables a dicha precipitación.

Y si en una o varias áreas concretas se superponen las situaciones favorables para los cuatro términos, en ellas *(y sólo en ellas)* se origina el fenómeno de la lluvia torrencial. Esto es lo que ocurre siempre en los ciclones tropicales; en las latitudes extratropicales es menos probable la confluencia de los cuatro factores, y tanto menos cuanto más nos alejemos del ecuador.

CAPÍTULO XII

APLICACIONES DE LA METEOROLOGÍA

Rara es la actividad humana que no necesita del concurso de la meteorología. Al meteorólogo llegan multitud de peticiones sobre las más variadas aplicaciones de la ciencia del tiempo: pronósticos generales, pronósticos de lluvias, de nieves, de vientos, de estados de la mar, de temperaturas, de humedad, de heladas...; estudios estadístico-climatológicos de vientos máximos, de temperatura-humedad, de horas de sol, de índices de *con-*



fort... Y para las más diversas aplicaciones: construcción, empresas cinematográficas, trabajo al aire libre, espectáculos, instalación de postes radiantes, seguros, publicidad, agricultura, exportación, turismo, confección de abrigos y gabardinas, deportes de muy diversas clases...

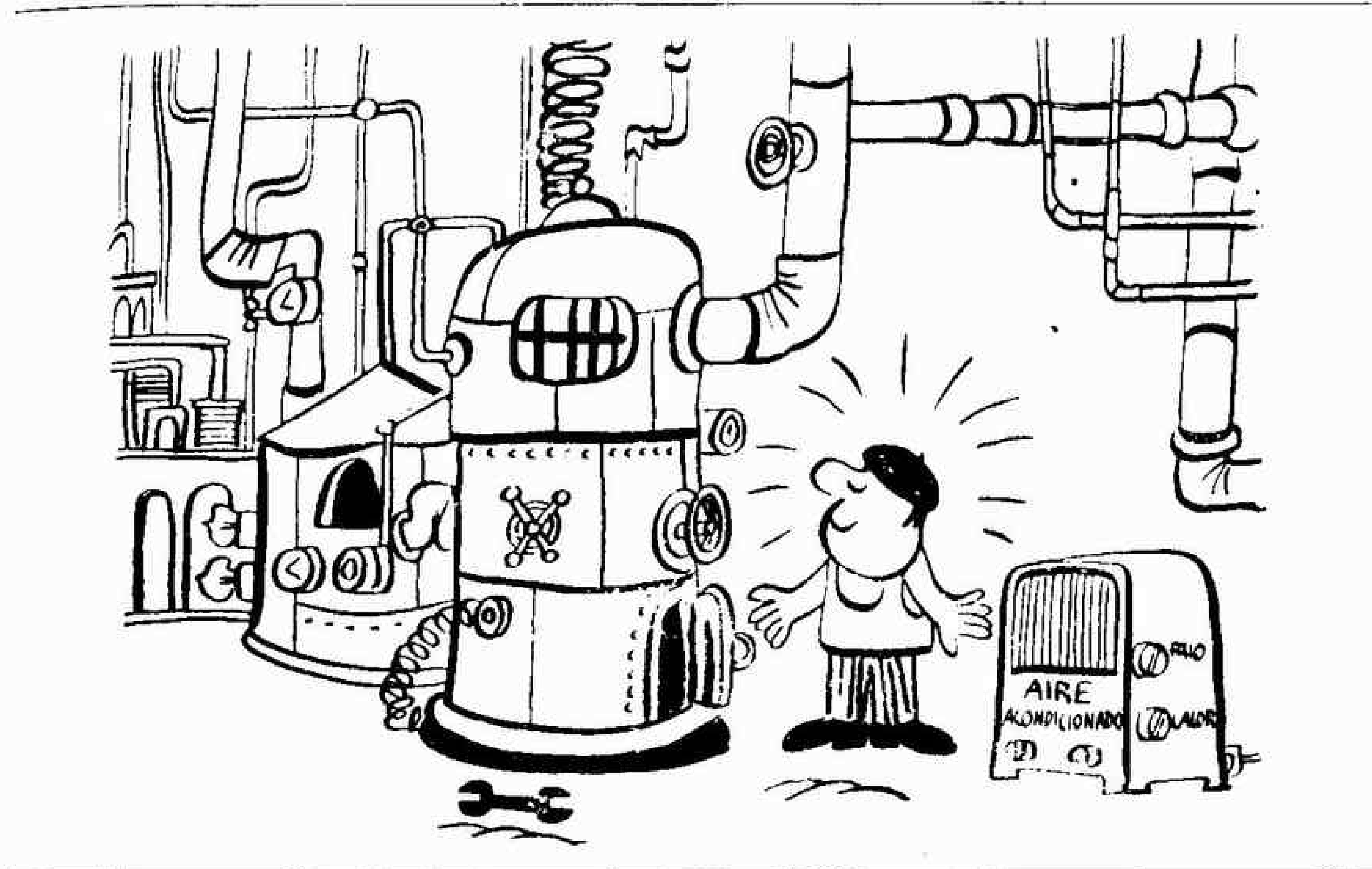
Y todo ello independientemente de existir los informes generales, tanto oficiales como particulares, que difunden la prensa, la radio y la televisión y que cada cual aplica a sus necesidades.

Están, además, las oficinas meteorológicas de los aeropuertos, que estudian la ruta mejor para cualquier vuelo, las condiciones aprovechables para el vuelo a vela, las de aterrizaje en caso de emergencia, las de formación o disipación de una espesa niebla... Y están también los pronósticos especiales para la navegación marítima, para la agricultura, conservación de bosques, explotación de embalses, lanzamiento de naves espaciales y satélites artificiales, en cuya trayectoria inicial y buen funcionamiento influyen decisivamente los vientos y la densidad del aire.

Se sale del plan de este libro tratar de todo ello detenidamente. Pasaremos ligera revista sólo a las aplicaciones más llamativas: biometeorología, agrometeorología, meteorología marítima, meteorología aeronáutica y modificación artificial del tiempo atmosférico.

BIOMETEOROLOGÍA

El tiempo influye en la vida misma; el organismo es un termostato que mantiene el cuerpo humano a una temperatura casi constante entre 36 y 37 grados centígrados. Cuando es más alta, o más baja, las cosas andan mal y hay que llamar al médico. El cuerpo humano es capaz de detectar las variaciones de la presión atmosférica, el aumento de humedad, el calor o el frío, con sensaciones muy específicas que pueden, en ocasiones, llegar a producir molestias, como, por ejemplo, el llamado «mal de montaña», por descenso importante de la presión atmosférica. Las temperaturas y la humedad ambientes determinan el «grado de bienestar» o de malestar; el viento juega también un papel importante en la «sensación fisiológica» o «grado de confort» al aire libre: un día de invierno sentimos más frío si sopla viento. El paso de frentes fríos activos agrava ciertas enfermedades, especialmente las relacionadas con el aparato cir-



culatorio. El tiempo ejerce un efecto psicológico sobre las personas, que dista mucho de ser bien conocido: del efecto *foehn*, por ejemplo, ya hemos hablado en el capítulo anterior. El tiempo atmosférico puede ser origen de epidemias, directa o indirectamente, en cualquier región de la Tierra. Es competencia de la biometeorología el estudio de las condiciones de salubridad en el trabajo. La ingeniería actual está en condiciones de crear en el interior de los edificios, cualquier tipo de clima: lo difícil es saber *cuál es* el clima conveniente para cada tipo de trabajo y de vida. Y falta muchísimo por hacer en este sentido.

Estas aplicaciones de la meteorología están poco menos que en mantillas; estudios se han hecho muchos, pero no suficientemente generales. Hay enfermedades que ocurren especialmente en verano, o en primavera, o en otra estación. De siempre ha habido personas que se han ido a pasar temporadas a determinados lugares «por recomendación del médico»; pero es lo cierto que, la mayor parte de las veces, estas recomendaciones no están basadas en un estudio previo y de total garantía de las condiciones climáticas; suelen basarse más bien en la propia experiencia o en lo que es tradicional. Falta, a todas luces, una cooperación formal y continuada entre el meteorólogo y el médico.

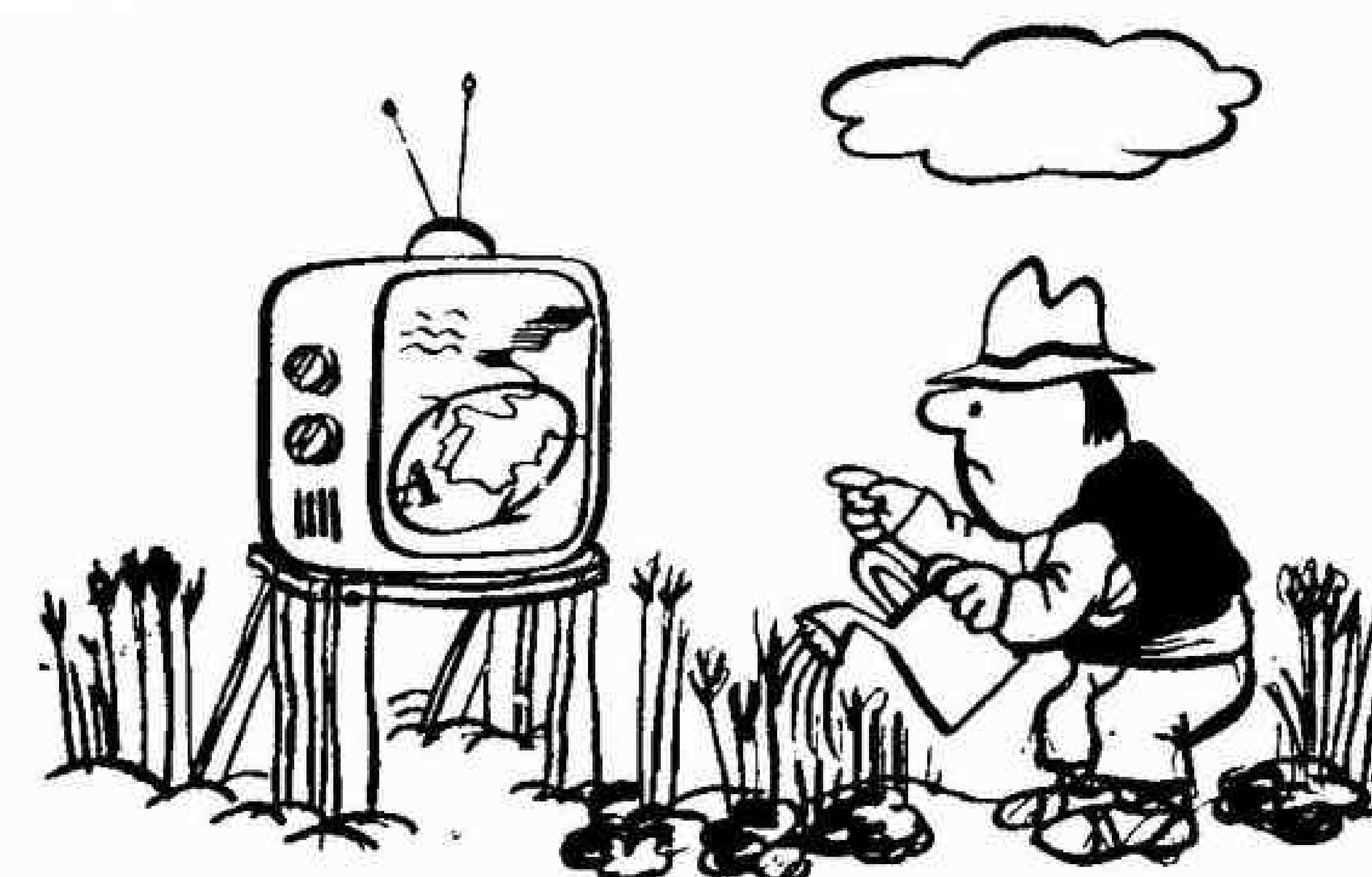
LA AGROMETEOROLOGÍA

Una protección meteorológica adecuada para la agricultura debe empezar por la adaptación racional de los cultivos al clima, al suelo y a las necesidades del comercio. Esto es algo que en los países viejos se ha ido logrando insensiblemente al correr de los siglos. Pero es necesaria la renovación en muchos casos. El agrónomo y el meteorólogo deben colaborar en los estudios previos al intento de aclimatar un nuevo cultivo. Tan necesario es conocer las características del suelo como el microclima de la comarca o de la finca, y necesario es también el estudio de los resultados obtenidos para conocer no sólo el clima, sino sus efectos sobre el desarrollo de los cultivos.

Los informes meteorológicos para la agricultura pueden ser de tres tipos: los *rutinarios*, de información sobre temperaturas reinantes, grado de humedad del aire y del suelo, vientos, precipitación caída, los cuales pueden servir de ayuda en el planteamiento y realización de determinadas labores. El propio agricultor puede determinarlos para sus tierras si dispone de un mínimo de aparatos adecuados. También pueden darse informes *fenológicos* sobre adelantos o retrasos del paso de aves emigrantes, del brote de las plantas, de la madurez, del deshoje..., lo que puede ayudar a determinar el adelanto o retraso general de los ciclos agrícolas naturales.

El segundo tipo lo forman los pronósticos de esos mismos factores climáticos ya citados. Estas predicciones pueden —y deben— ser a «plazo corto» (treinta horas), a «plazo medio» (cinco a ocho días) y a «plazo largo» (quince días, un mes... una estación). Naturalmente que cuanto más largo sea el plazo, menos tendrá de pronóstico y más de conjetura; pero aun así, el tener el agricultor una simple idea de si el mes próximo, o el próximo invierno, será más bien seco o más bien húmedo, más bien frío o más bien moderado, puede ayudarle mucho en su trabajo.

El tercer tipo son los «avisos especiales de riesgos». Son muchos los peligros meteorológicos que acechan a los cultivos: heladas, olas de calor, pedriscos, lluvias torrenciales, vientos fuertes..., de todos los cuales debe estar avisado el agricultor siempre que sea posible. El tiempo atmosférico tiene, además, influencia grande sobre la aparición y desarrollo de las plagas del campo. Predicciones adecuadas ayudan a paliar los daños,

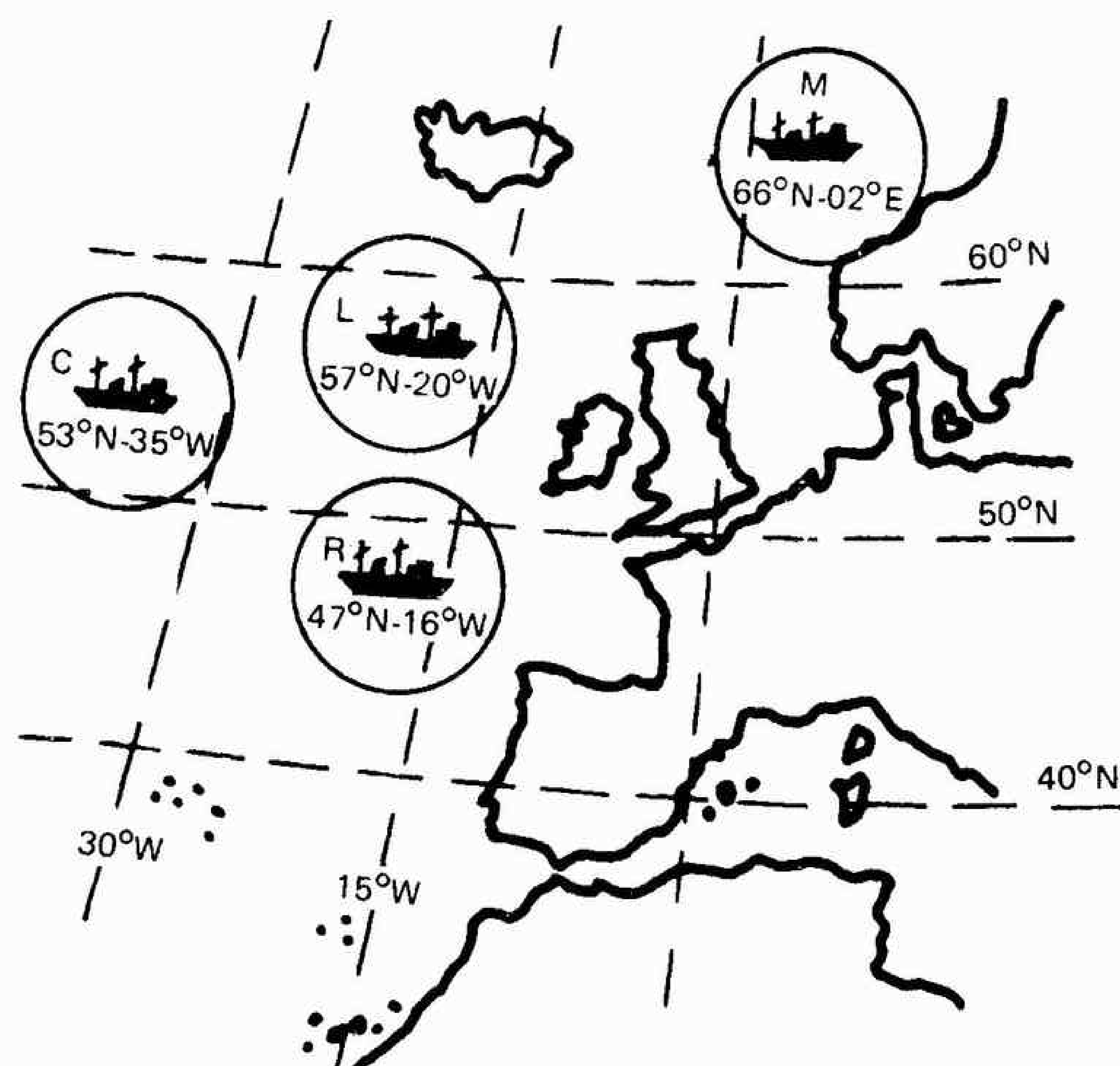


siempre que se cuente con medios de luchar contra ellos o de prevenir sus desastres.

En cualquier clase de decisión en agricultura hay siempre un aspecto meteorológico del problema que debe sopesarse debidamente. La protección contra el viento, contra las plagas, contra la arena; la racionalización de riegos en relación con la lluvia y la evaporación, la defensa contra las heladas, son problemas en cuya resolución debe estar presente el meteorólogo. Y en problemas más prosaicos, como la instalación de corrales, de almacenes, de viviendas... se calculan en un 20 % las pérdidas de alimentos por almacenaje inadecuado o por condiciones desfavorables durante las faenas previas al almacenamiento. El tratamiento de ciertas plagas con insecticidas pulverizados requiere unas condiciones climáticas de máxima eficacia para el producto utilizado. Una predicción bien orientada puede dar grandes beneficios; lo importante es que el agricultor cuente con los pronósticos y adquiera confianza en ellos, que él ya sabe cómo utilizarlos.

METEOROLOGÍA MARÍTIMA

Distribuidos por los grandes océanos, numerosos barcos situados en posiciones casi invariables forman una red de observatorios de primerísima categoría, llamados estaciones meteorológicas oceánicas. Están, además, los llamados «barcos seleccionados», que son unos 3.000 buques de todas las naciones que



en sus recorridos comerciales hacen y transmiten, a horas fijas, observaciones meteorológicas del tiempo y de la mar. Gracias a ellos, las vastas extensiones marinas no están vacías de datos. A cambio de esto, ¿qué da la meteorología a la navegación marítima? Desde diversas estaciones se difunden varias veces al día avisos para la navegación, con sus correspondientes pronósticos, que ayudan a evitar los temporales o a tomar precauciones adecuadas para *capearlos*.

Fundamentalmente, el marino cuenta con dos enemigos: el viento y el estado de la mar, que están estrechamente relacionados. Del viento ya hemos visto bastantes cosas en capítulos anteriores; pero el estado de la mar, causa de tantas tragedias marineras, es algo específico de la predicción marítima especializada.

0-calma



1-rizada



2-marejadilla



3-marejada



4-fuerte marejada



5-gruesa



6-muy gruesa



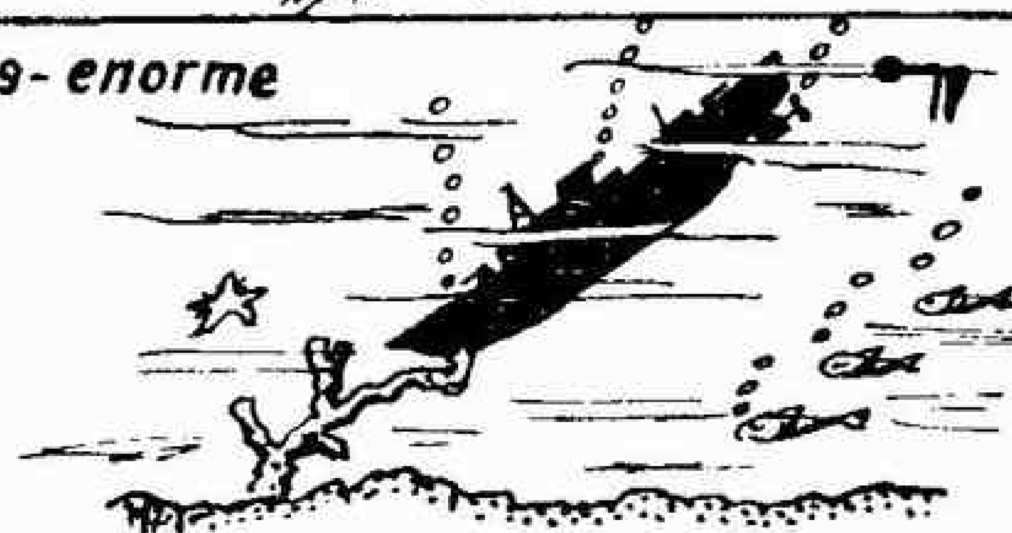
7-arbolada



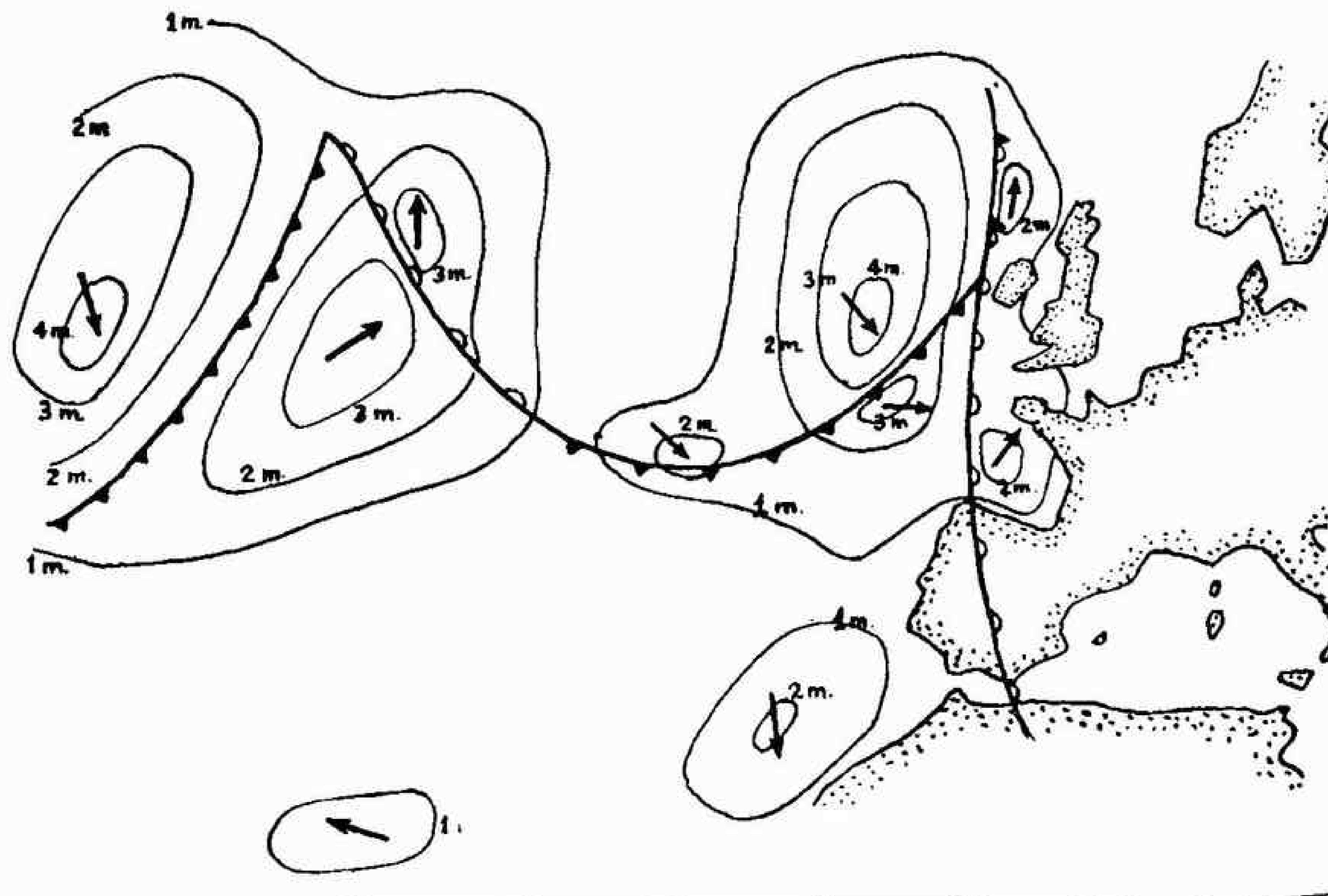
8-montañosa



9-enorme



Se distinguen dos clases de mar: la «mar de viento» y la «mar de fondo». La primera es originada por el viento que sopla sobre la superficie del mar en un lugar determinado, y su magnitud depende de la fuerza del viento, de la «persistencia» o duración del mismo y de su «alcance» o distancia desde la que sopla viento de la misma dirección (es decir, la longitud de las isobaras del mapa del tiempo, cuando son rectilíneas o casi rectilíneas). Esta magnitud, el «alcance», se suele denominar en todas partes con su nombre inglés, que se ha internacionalizado, y lo expresa la palabra *fetch*. La «mar de fondo», que puede aparecer incluso en lugares de vientos débiles, se debe a la propagación, a veces desde muy lejos, de las olas creadas por el viento en otra área oceánica. Con ambos tipos de mar tiene que entendérselas el especialista mediante cálculos adecuados. Lo primero que hace es trazar el «mapa de olas». Para ello utiliza las observaciones de los barcos, que incluyen la altura de las olas, la dirección de donde vienen y su «período» o tiempo que transcurre entre dos olas consecutivas. Sobre el mapa en que están transcritos los datos se trazan líneas similares, en cierto modo, a las isobaras, pero que unen puntos en los que las olas tienen la



misma altura, y se marca con una flecha gruesa la dirección dominante del oleaje en cada área. A simple vista se ven entonces las zonas marítimas donde la mar está más agitada y donde lo está menos, y se ve, asimismo, hacia dónde se dirigen las olas. No es tan sencillo el cálculo del «mapa previsto de olas» para veinticuatro horas; se parte del anterior y se acaba en otro, del mismo tipo, que indica cómo será mañana el oleaje y dónde estarán los núcleos principales de olas. Tales mapas se transmiten por *facsímil* a determinados centros de la Marina y son la base fundamental para un pronóstico de estados de la mar.

Hay, además, otros enemigos para el marino: la niebla, el hielo, los ciclones..., y de todos ellos debe estar avisado, porque con el mar no valen descuidos.

Es también labor de la meteorología marítima el estudio climático de los mares al planear un largo viaje; el de prever la conservación de la carga cuando se han de atravesar diversos climas extremados; la predicción de las «rompientes» para un desembarco y la de condiciones adversas para carga y descarga. El mar es fuente inagotable de riquezas, pero, como enemigo, implacable.

METEOROLOGÍA AERONÁUTICA

La aeronáutica se lleva *la parte del león* en muchos de los servicios meteorológicos del mundo; pero es de justicia si se considera que es la aviación la que más ha dado y ayudado a la meteorología. Tal vez sea, además, la aeronáutica la actividad que más necesite de la ciencia del tiempo, porque se desarrolla en el seno del aire.

El problema de la aviación moderna es el de volar con *todo tiempo*, y el papel de la meteorología es bastante más complicado que la confección de un pronóstico corriente: desempeña un papel eminentemente operacional. Por eso las grandes compañías aéreas tienen sus propios meteorólogos, aparte de utilizar los servicios oficiales.

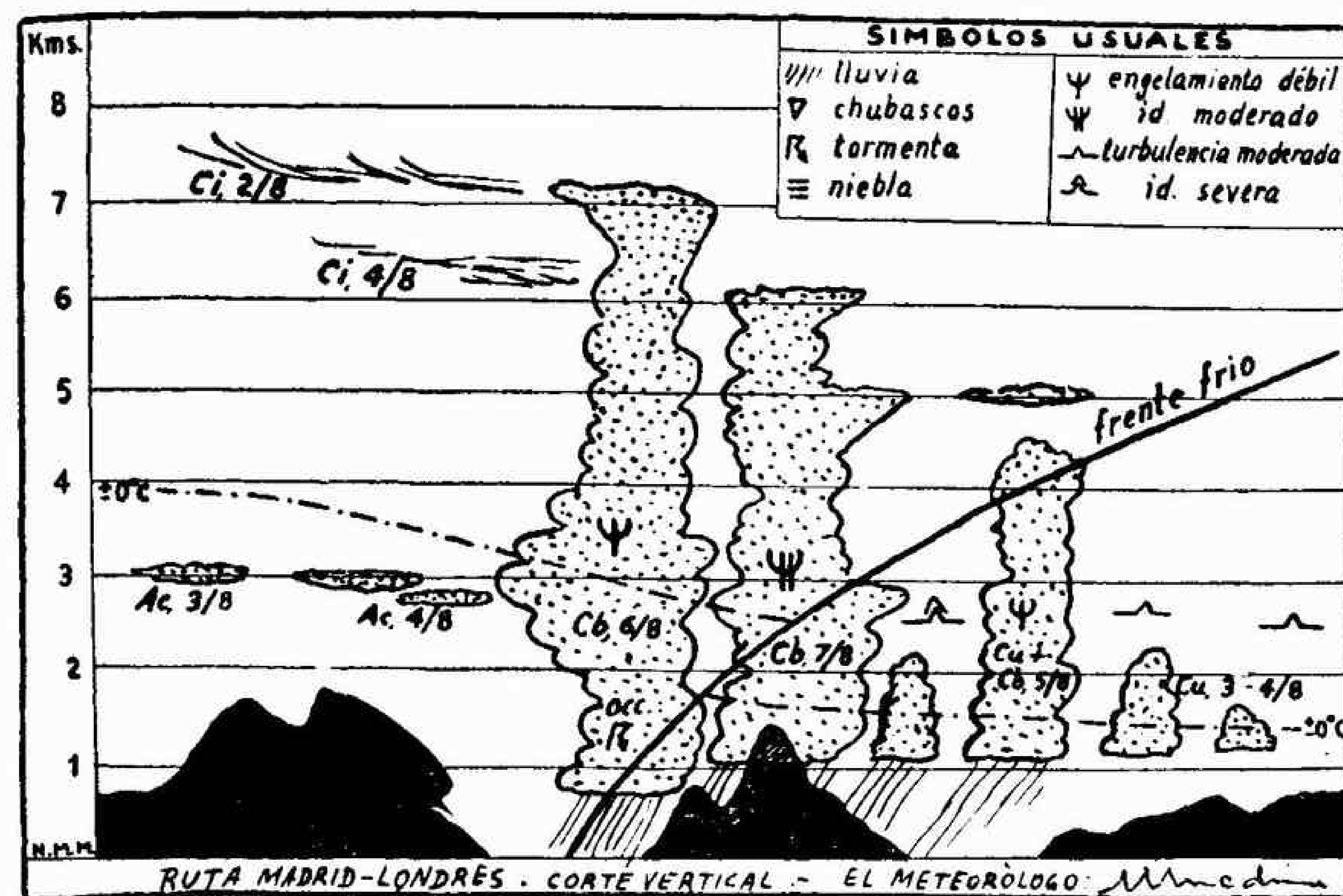
¿Qué clase de información pide la aviación a la meteorología? Todos los informes y pronósticos pueden reducirse a dos grandes tipos: *de ruta* y *de aeródromo*.

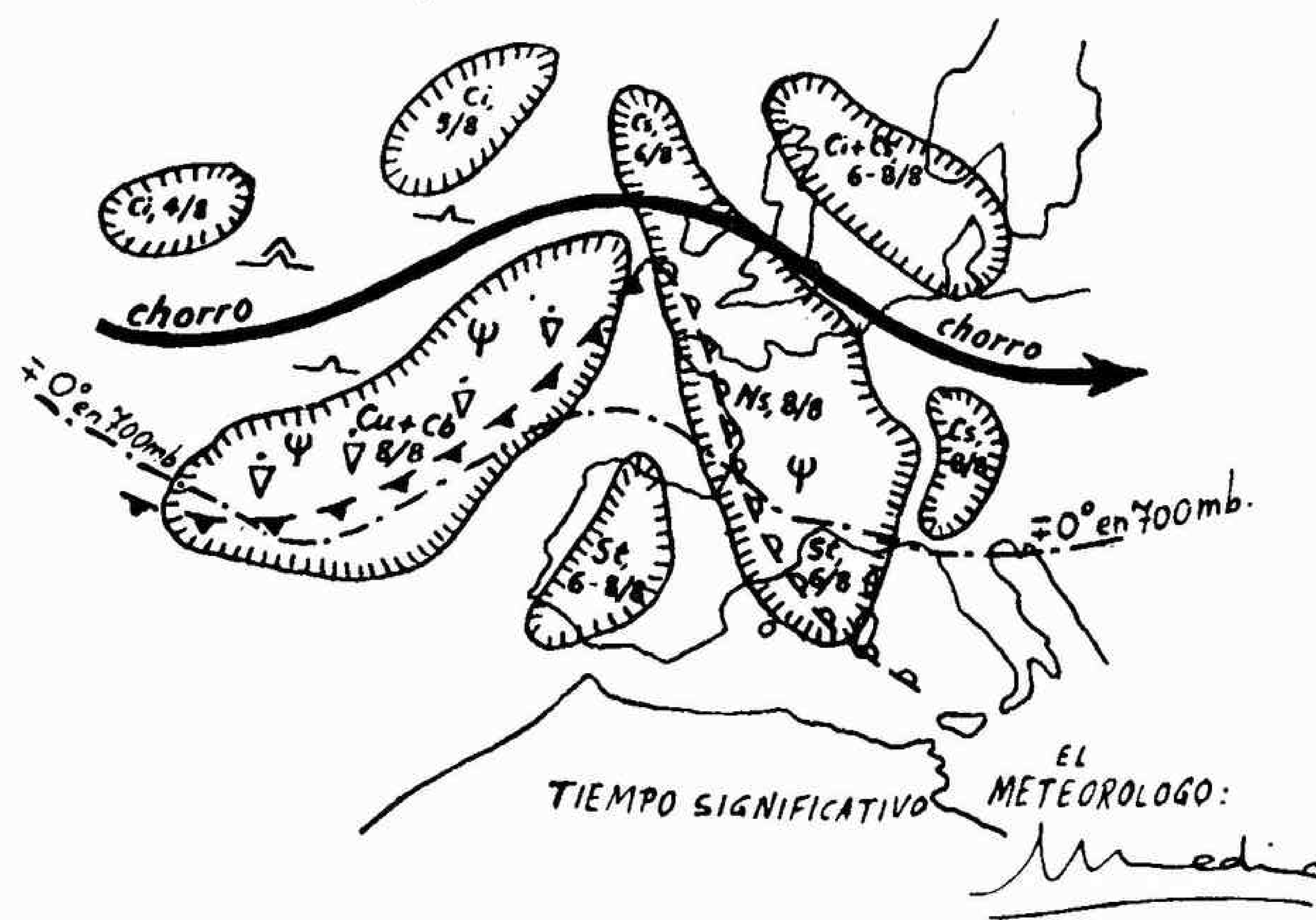
El pronóstico de ruta describe las variaciones de los elementos meteorológicos a lo largo del espacio, o ruta, que deba o



pueda seguir un aeroplano. Contiene información sobre la cantidad de nubes, tipo de las mismas, altura de sus bases y de sus cimas, frentes cálidos y fríos, precipitaciones en sus diversas formas, condiciones de «engelamiento» y «turbulencia» y vientos a distintas alturas. Para vuelos cortos y de aviones *de pistón*, se recurre a un *corte vertical* de la ruta, en el que se dibujan, con símbolos adecuados, todos los elementos y factores meteorológicos citados. En vuelos largos de aviones a reacción, todos esos informes se esquematizan, no para una ruta determinada, sino *para todas las rutas* al mismo tiempo, siempre que los vuelos vayan a realizarse dentro de un intervalo de horas determinado. Se logra esto con el llamado «mapa del tiempo significativo», del que se entrega una copia a cada tripulación, junto con copias, además, de los mapas de altura, para que sepan cómo está la circulación general de vientos en niveles altos.

Los pronósticos de aeródromo, preparados fundamentalmente para el aterrizaje, describen la variación de los elementos meteorológicos a lo largo del tiempo (dos, seis, doce o veinticuatro horas) prevista para el aeropuerto de partida (por si ha de volver), para el de destino y para los llamados «alternativos», o sea otros aeropuertos previstos para casos de *emergencia*. En tales pronósticos se detallan con arreglo a una clave internacional, o en lenguaje corriente, todas las condiciones que puedan afectar al aterrizaje y sus probables variaciones dentro del plazo especificado, muy especialmente viento, nubes y visibilidad.





ENGELAMIENTO Y TURBULENCIA

Les hablaba hace un momento de «engelamiento» y de «turbulencia». El engelamiento es, quizá, el mayor enemigo de los aviones: cuando se vuela entre nubes a una altitud en que la temperatura está entre cero y diez grados bajo cero y, a pesar de ello, las gotas de agua *no se han congelado* (equilibrio inestable que se conoce por «sobrefusión»), la agitación producida por el paso del avión rompe el equilibrio, congelándose bruscamente las gotitas y formando una costra helada sobre los bordes de ataque de las alas, de los timones, de los órganos exteriores de ciertos aparatos de control... Con ello el avión, aparte de aumentar grandemente de peso, puede perder su perfil aerodinámico, lo que es más grave, pues deja de ser un aeroplano propiamente dicho para transformarse en un objeto impulsado por motores, lo cual puede traer consecuencias desastrosas.

Para los aviones a reacción, el engelamiento se presenta más arriba, para temperaturas más bajas, debido a que, por su gran velocidad, se calienta el avión por rozamiento contra el aire y hacen falta temperaturas más bajas para que el fenómeno se presente. Naturalmente, los aviones llevan sus defensas contra este peligro, pero lo mejor es evitarlo.

La «turbulencia», conocida vulgarmente por «meneos», es esa conducta de *montaña rusa* que sigue un avión en una atmósfera inestable; hicimos referencia a ella al final del capítulo 9. Es muy frecuente que ocurra volando a través de grandes cúmulos o cumulonimbos, debido a las corrientes verticales propias de estas nubes. Pero hay otra, que se suele manifestar a gran altura y aunque no haya nubosidad: es la debida al brusco contraste de la velocidad del viento entre el tubo central de las «corrientes en chorro» y sus bordes, donde se forman aquellos remolinos de que hablábamos en el capítulo 5. Debido a la casi ausencia de nubes que suele reinar a tales altitudes, se conoce este fenómeno como «turbulencia en aire claro», siendo de uso corriente en aeronáutica su nombre inglés: *clear air turbulence*, de cuyas siglas C.A.T. (*cat* es *gato* en inglés, como saben) se ha popularizado entre los *reactoristas* el nombre de *gatos* para referirse a estas traicioneras turbulencias: «gatos I», para el borde izquierdo del chorro; «gatos II», para el borde derecho, y «gatos III», para la más complicada turbulencia de la región que separa los dos chorros que surgen tras la bifurcación del chorro principal, o entre dos chorros, ambos principales, si corren a poca distancia uno del otro.

Cuando el viento sopla perpendicularmente a una cordillera, pueden formarse fuertes remolinos a sotavento de las montañas, con turbulencia muy peligrosa; el fenómeno es conocido como «onda de montaña».

MODIFICACIÓN ARTIFICIAL DEL TIEMPO ATMOSFÉRICO

Voy a ser muy escueto —aunque difícilmente corto— en comentar este campo, de imprevisibles alcances, de la meteorología aplicada; no quiero correr el riesgo de escribir una de esas novelas que suelen llamarse de «ciencia-ficción». Los principales aspectos en que, hasta ahora, se han intentado tales modificaciones son: lluvia artificial, modificación de tormentas y variaciones climatológicas en gran escala.

LA LLUVIA ARTIFICIAL

Es nombre mal empleado. Mi buen amigo y compañero don José Tapia, que ha trabajado mucho y bien en este campo, lo llama «estimulación artificial de la lluvia», que no es que sea expresión más correcta, sino *la verdaderamente correcta*. Las razones son: no se puede hablar de producción artificial de la lluvia, ya que para ello haría falta *producir*, en un área determinada, nada menos que una *situación atmosférica* en la que se den, en el tiempo y cantidad precisos, todos los factores necesarios para que ocurra el fenómeno de *condensación continuada* en cierta escala, es decir, crear una verdadera perturbación atmosférica, reflejable en los mapas del tiempo, donde no la había previamente ni podía originarse en forma natural. No se trata, pues, de *hacer* llover con cualquier situación atmosférica, sino de *ordeñar* las nubes, si la situación es favorable, para que den más lluvia.

El estado actual de la técnica no permite otra cosa que tratar de *estimular* un proceso natural y, casi siempre, sin gran seguridad en cuanto a la porción de la lluvia caída que pueda ser achacable al mecanismo empleado para tal estímulo. Se admi-



ten, como casi logrados, ciertos cambios en la forma de la precipitación, como convertir en lluvia el granizo, en nieves las lluvias en determinadas circunstancias, etc. Creemos poder afirmar que hasta el momento *no existe ninguna prueba concluyente* de que por un procedimiento *no natural* cualquiera —de los muchos utilizados— se haya hecho «precipitar» un sistema nuboso de cierta amplitud, según el significado que para cualquier científico tiene la palabra «precipitar». Puede decirse, esto sí, que en condiciones *próximas* a las necesarias para la lluvia se ha logrado iniciarla antes y, quizás, estimularla en cierta medida, pero nada más puede afirmarse en forma categórica.

¿CÓMO SE HACE?

El procedimiento consiste en *estimular* la reunión de gotitas de la nube para formar gotas mayores que caigan en forma de lluvia. Supuesta la existencia de nubes apropiadas (no todas sirven), hay que introducir en ellas «núcleos de precipitación», es decir, sustancias a las que se adhieran esas gotitas para formar gotas gordas. A esto se llama «sembrar» la nube. Los procedimientos usados en la actualidad para esta «siembra» son fundamentalmente dos:

Sembrando desde arriba, al dejar caer desde un avión «nieve carbónica» pulverizada (se trata del gas anhídrido carbónico, tan empleado para hacer efervescentes las bebidas refrescantes, pero *solidificado* y, por tanto, a bajísima temperatura; es ese polvo blanco que hay dentro del estuche de las tartas heladas); o dispersando agua pulverizada sobre la nube, o sal común en microcristales.

Sembrando desde abajo, por fumigación desde el suelo. Para ello se quema, en unos hornillos apropiados, carbón de coque impregnado de yoduro de plata (también se ha empleado el yoduro sódico). Hay que elegir bien las situaciones atmosféricas apropiadas y los lugares de colocación de los hornillos, para que los humos encuentren «ascendencias» naturales que



los eleven con rapidez hasta el interior de la nube, de manera que no se «desactiven» antes de entrar en ella. El yoduro de plata es «isomorfo» con el hielo, es decir, cristaliza en el mismo sistema, con lo que se *engaña* a las gotitas de agua de la nube, *haciéndolas creer* que se han empezado a formar cristalitos de granizo, a los que se unen otras gotitas en seguida, formando gotas gruesas.

DUDAS RAZONABLES

Los motivos más destacables de duda sobre los resultados hasta ahora obtenidos en los ensayos efectuados son:

— En general nunca fueron concluyentes, ni en su aspecto teórico ni en su realización práctica, las muchísimas experiencias realizadas.

— Generalmente se han obtenido resultados *alentadores* en áreas y momentos en que la precipitación natural era bastante probable.

— Los aumentos conseguidos —o que se han creído conseguir— en la cantidad de lluvia han sido relativamente pequeños, por lo general.

¿POR QUÉ SE INSISTE?

Quizás ustedes se hagan esta pregunta, a la vista de los inconvenientes citados. Las razones para insistir en los experimentos son:

— Existen muchas regiones (y España es una buena muestra) donde el conseguir aumentos *ciertos* y *continuos* de las lluvias naturales, en un 20 a un 50 % de su valor, las transformaría de inciertas en casi seguras para los cereales.

— Cualquier meteorólogo que haya tocado directamente este problema no puede por menos que estar convencido de que una gran parte (digamos el 80 %) de los esfuerzos hechos en esta especialidad no tuvieron una preparación científica y técnica *acabada*. De que, incluso, cuando tal preparación tuvo cierta garantía y las experiencias de laboratorio eran alentadoras, los métodos empleados para experimentar masivamente en el campo, al aire libre, no fueron, quizá, demasiado precisos.

— Aún no se ha logrado una técnica de valoración de resultados que permita un control seguro y eficiente de cualquier experiencia hecha *directamente sobre la naturaleza*. Quizá por ello no se han podido encauzar nuevos experimentos sobre la base de conclusiones correctas de resultados anteriores.

— El *desaliento* en este problema sólo sería admisible después que la experimentación demostrase la insuficiencia de los medios al alcance de la ciencia actual: no se ha demostrado que se obtengan resultados indudables, pero tampoco lo contrario. Hay, pues, que seguir trabajando, aunque sobre bases bastante más científicas que las empleadas, mucho mejor controladas y, sobre todo, más variadas en cuanto a métodos y organización de campañas. La ciencia dispone actualmente de tal cantidad y calidad de medios y de tan altos niveles de energía «potencialmente empleables», que no es justificable el desaliento. Creemos que no se ha *rebuscado* lo suficiente en las estructuras moleculares de los miles de sustancias químicas para encontrar núcleos de congelación y de condensación definitivos. Ni tampoco para obtener «catalizadores» de precipitación, de tipo energético, sin empleo de núcleos o partículas materiales.

MODIFICACIÓN DE TORMENTAS

En este aspecto, los esfuerzos se encaminan a hacerlas menos dañinas, convirtiendo el asolador granizo en benéfica lluvia y disminuyendo los fenómenos eléctricos. Los éxitos más notables se han conseguido, hasta ahora, en Estados Unidos, en Rusia y, aunque con medios más modestos, en Yugoslavia. Los procedimientos usados tienden a eliminar el granizo al aumentar, artificialmente, el número de *núcleos de congelación,* para que los gránulos de hielo se formen en abundancia y pequeños, en vez de pocos y grandes, fundiéndose durante su caída y llegando al suelo como lluvia y, en parte, como granizo menudo, en vez de como pedrisco. Éste se forma cuando en la nube tormentosa hay gran cantidad de *agua subfundida* (o *sobreenfriada*), es decir, agua que estando a temperatura inferior a los cero grados centígrados sigue en estado líquido por falta de núcleos de congelación.

De acuerdo con lo antes dicho, los cristalitos de yoduro de plata sirven como núcleos de congelación, de manera que es cuestión de introducirlos rápidamente (para que no les dé tiempo a *desactivarse*) en el interior de la *zona de granizo* de la nube, es decir, allí donde está el agua subfundida.

Mediante el uso del radar de 3 centímetros (es decir, que envía ondas electromagnéticas de 3 centímetros de longitud de onda), se detecta muy bien esa zona en el interior de las nubes tormentosas. El radar denuncia la posición y dimensiones exactas de dicha zona; pero ésta no es estática, no es invariable, sino que se está modificando continuamente la estructura de la nube al mismo tiempo que ésta se traslada, por lo que es necesario actuar con gran rapidez. Para ello, los informes del radar se transmiten, instantáneamente, a un pequeño computador, programado para calcular en el acto la cantidad de yoduro de plata necesaria (es un producto caro) en cada caso, los datos para graduar la espoleta de unos cohetes cargados con dicho producto y las coordenadas para la dirección de tiro de los tubos lanzacohetes, efectuándose el disparo de varios de ellos en menos de un segundo de tiempo y yendo a estallar en el interior de la zona de granizo que queda, así, *sembrada* de núcleos de congelación.

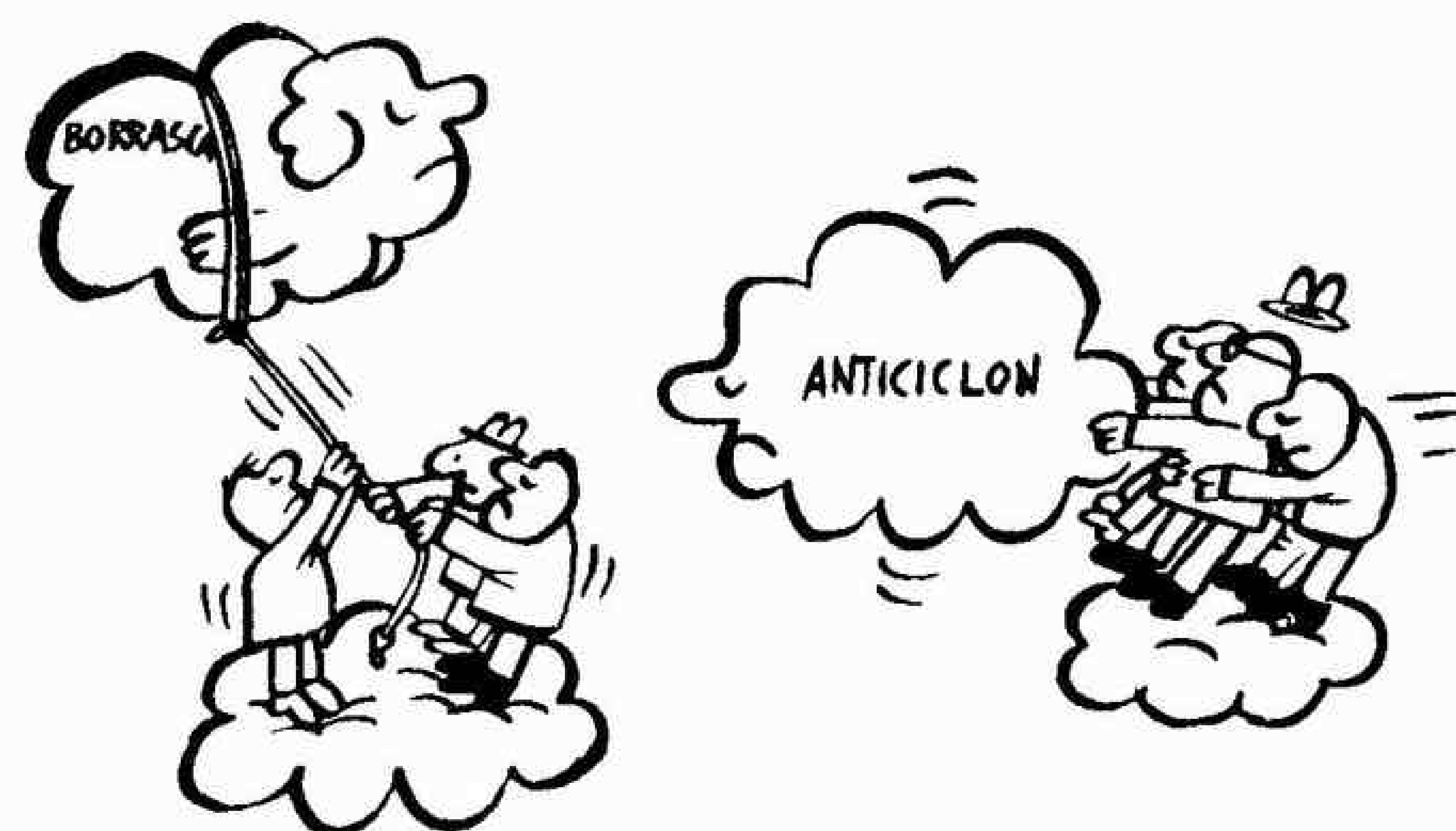
VARIACIONES CLIMATOLÓGICAS A GRAN ESCALA

Se han intentado y se sigue haciéndolo sobre los siguientes aspectos:

— Eliminación de nieblas frecuentes y persistentes en aeropuertos.

— Variación del curso de corrientes oceánicas o creación de otras nuevas, que permitan modificar el clima de los lugares por donde pasen (sabido es que la «corriente del golfo» que viene desde Méjico a través del Atlántico suaviza el clima de las Islas Británicas y del noroeste español).

— Variación de las condiciones del suelo, ennegreciéndolo o blanqueándolo en grandes extensiones, para modificar la cantidad de calor absorbida y reflejada por él. O, también, creando nubes artificiales para impedir el enfriamiento de las capas bajas de la atmósfera, al escaparse el calor del suelo por radiación ha-



cia el espacio frío. Algo de este tipo se ha propuesto hacer en el casquete polar, por ejemplo.

— Variaciones artificiales de las trayectorias de las borrascas y anticiclones. Es proyecto muy ambicioso. Tenemos noticias de que están intentando algo en este aspecto los americanos en Alaska y en Canadá.

Se han hecho algunos ensayos de destrucción de perturbaciones tropicales que llevan camino de convertirse en *ciclones* o *huracanes* del Caribe, es decir, antes de que alcancen su completo desarrollo y sean capaces de destruir todo aquello que encuentren en su camino; esto último ocurre en cuanto se consolida en su interior el «ojo cálido» del que ya hemos hablado, a partir de cuyo momento no parece haber límite a la fuerza del viento y a la intensidad de sus aguaceros. Mediante los satélites meteorológicos resulta fácil detectar esas perturbaciones cuando están naciendo y no han empezado, aún, a desarrollarse; y una vez localizadas, basta mandar aviones para que «bombardeen» con *nieve carbónica* el ojo o parte central de la incipiente perturbación; se destruye así el ojo *cálido* mediante un fuerte enfriamiento y puede decirse que el ciclón es *abortado*.

Sin embargo, es ésta una *manipulación* peligrosa, pues la atmósfera se defiende automáticamente. Porque los ciclones no nacen por un capricho, sino por una necesidad de la naturaleza, y surgen para lograr un equilibrio entre la rotación terrestre y la circulación general atmosférica, de manera que al romper artifi-

cialmente dicho equilibrio de la naturaleza, ésta reacciona en sentido contrario. Los ciclones nacen cuando los vientos del este de la zona intertropical acumulan una excesiva energía durante el verano; como la Tierra gira de oeste a este, los alisios la frenan algo, por rozamiento, puesto que soplan en sentido contrario; cuando la energía de estos vientos aumenta en demasía, ese frenado alarga la duración del día, aunque sólo sea en algunas milésimas de segundo, lo cual es suficiente para romper el equilibrio necesario; los ciclones tropicales, al gastar enormes cantidades de energía en originar meteoros de gran violencia, y al lanzar a lo alto grandes cantidades de aire del que va circulando por el nivel del mar, hacen disminuir la energía de los alisios a sus justas proporciones, restableciendo el equilibrio de la rotación terrestre y la circulación atmosférica. Por eso, al destruir un germen de ciclón tropical, la naturaleza reacciona y surgen, espontáneamente, uno o dos nuevos: es aquello de si no quieres caldo, dos tazas. Por todo lo cual se suspendieron tales experimentos; pero se sigue estudiando la cuestión y llegará un día en que, mediante el uso de modelos matemáticos suficientemente exactos de circulación atmosférica, un computador adecuado podrá decir con exactitud el camino que seguirá el ciclón. Sólo si su trayectoria le va a llevar a arrasar poblaciones habrá que destruirlo, y al simular su destrucción matemáticamente, el propio computador nos podrá decir si surgirá algún otro y su probable trayectoria, procediendo en consecuencia.

CAPÍTULO XIII

HOY LAS CIENCIAS ADELANTAN...

«Hoy las ciencias adelantan que es una barbaridad», cantaba el famoso don Hilarión, viejo y galanteador boticario de la célebre zarzuela *La verbena de la Paloma*. Y estaba el hombre en el siglo XIX.

¡Qué diría ahora! Cuando numerosos satélites artificiales surcan el espacio sin piloto; cuando se les arreglan *desde tierra* ciertas averías; cuando obtienen fotografías, que nos envían, almacenando ellos los *clichés* y volviéndonos a mandar más *copias* sin más que pedírselas, aunque hayan pasado varios días.



Cuando se han lanzado cohetes a la Luna que han fotografiado su cara oculta, mandando a la Tierra las fotografías. Cuando en diversas expediciones el hombre ha puesto el pie y se ha paseado en la Luna, usando incluso vehículos para ello. Cuando todo esto se ha podido *ver* desde la Tierra en sus colores naturales y *en directo* gracias a la televisión. Cuando se han enviado ingenios a diversos planetas. Cuando de año en año se quedan anticuados los últimos modelos de aviones a reacción. Cuando los submarinos atómicos han navegado bajo los hielos emergiendo en el polo norte. Cuando los grandes barcos movidos por energía atómica no necesitan reponer combustible en cientos de días. Cuando hay no sólo televisión sino «mundovisión» a través de satélites artificiales de telecomunicaciones. Quizá diría, el bueno de don Hilarión, algo parecido a lo que diríamos nosotros si levantásemos la cabeza dentro de cien años.

Estamos en la era de la electrónica. Esa ciencia maravillosa capaz de dejarnos con la boca abierta con cualquiera de sus más sencillos resultados. No hay actividad más o menos *actual* que no la necesite. Y hay, desde luego, especialidades que no hubieran podido ni nacer sin el auxilio de la electrónica: ahí tienen a la astronáutica y a esos casi milagrosos «computadores electrónicos», por no citar más que dos de sus aplicaciones más espectaculares.

METEOROLOGÍA DE VANGUARDIA

La meteorología, con su cada vez mayor importancia en el desarrollo económico de los países, no podía quedarse fuera del radio de acción de la electrónica. Empieza a llegar la ciencia del tiempo a su mayoría de edad cuando ese formidable medio de trabajo e investigación va siendo capaz de resolver los problemas más arduos, sobrepasando a los sueños más atrevidos de las mentes más imaginativas.

La meteorología ha estado *casi en pañales* hasta después de la Segunda Guerra Mundial. Entró en su juventud, después de acabada dicha conflagración, con el estudio de las «corrientes en chorro» de la alta atmósfera, aquéllas que se oponían a que los bombarderos americanos fuesen hasta el Japón. Yo la veo como otra de las ciencias del futuro. Y, quizá, con más derecho *moral* que otras, ya que siempre se ocupó de la previsión del

porvenir; bien que fuese a corto plazo y en relación, tan sólo, con los fenómenos del tiempo atmosférico.

Por lo pronto, estamos asistiendo al nacimiento y desarrollo de nuevos y revolucionarios aspectos de ella: la meteorología del radar y la de los cohetes espaciales. Y hay, sobre todo, otros dos aspectos que rompen por completo los moldes de la meteorología clásica, para crear una nueva «meteorología de vanguardia»: *los satélites artificiales de observación meteorológica y el cálculo y trazado automáticos de los mapas del tiempo previstos.*

En este capítulo quiero esbozar para ustedes una idea somera de cómo el «radar» nos descubre —en áreas poco extensas— *lo que llevan dentro* las formaciones nubosas; de cómo los satélites artificiales nos proporcionan datos y observaciones que cubren la superficie de la Tierra casi por completo; y de cómo se obtiene *automáticamente* un mapa del tiempo *previsto*, es decir, el mapa del tiempo que habrá dentro de 24, 36, 48 ó 72 horas.

UN «ECO» EN EL ESPACIO

Todos hemos experimentado, más de una vez, el curioso fenómeno del «eco». Basta gritar algo en la boca de un pozo, en el interior de un túnel, en un desfiladero entre montañas o en determinadas habitaciones de algunos viejos palacios, para volver a oír nuestra voz —con cierto tono de ultratumba— inmediatamente repetida una o más veces. «Tontoooo», suelen gritar



los chiquillos; y en seguida el eco contesta: «Tontoooo», «tontoooo»...

Se trata, como todo el mundo sabe, de un sencillo fenómeno de reflexión de las ondas sonoras emitidas por nuestra voz y devueltas por las paredes del túnel, del pozo, de las montañas o de las habitaciones. Parte de esas ondas reflejadas vuelven a nosotros y volvemos a oír nuestra voz; un tanto deformada y algo más débil, porque hay parte que se pierde al no volver en la dirección en que estamos y porque algunas de las ondas que no vuelven a nosotros se entrecruzan con las que oímos y las «interfieren». Esas ondas *perdidas* pueden producir, a su vez, uno o más ecos que llegan a nosotros cada vez más débiles y lejanos.

Las ondas sonoras se producen al vibrar objetos, como las cuerdas vocales, las cuerdas de un violín o la materia de un objeto al ser golpeado. El radar utiliza otro tipo de ondas, las ondas electromagnéticas, que se producen mediante la vibración de cargas eléctricas.

El número de vibraciones que se producen en un segundo constituye la *frecuencia* de la vibración. Cuanto mayor es la frecuencia de una onda, más pequeña es su *longitud*, y viceversa. El espectro de las ondas electromagnéticas se extiende desde los rayos gamma, de longitud de onda muy corta (y frecuencia altísima) hasta las ondas de radiodifusión, pasando por las ondas de la luz visible.

Cuanto mayor es la frecuencia de una onda (y más pequeña su longitud), mayor es su penetración y alcance. Así, por ejemplo, dentro de las ondas de radiodifusión las emisoras de onda corta son las que más lejos se pueden captar.

El radar se inventó en la Segunda Guerra Mundial. La palabra se hizo popular en seguida. A este invento se debió, en no pequeña parte, la victoria británica en la batalla aérea de Inglaterra. El radar está basado en el fenómeno del «eco» y en el uso de ondas electromagnéticas de alta frecuencia, del mismo tipo que las ondas más cortas que se emplean en radiodifusión. Como todas las ondas electromagnéticas, las ondas de radar viajan a la velocidad de la luz: unos 300.000 km por segundo. Si en su viaje a través de la atmósfera tropiezan con un obstáculo, por ejemplo un avión, son reflejadas por él y vuelven, al menos parte de ellas, a la estación emisora, que las recoge en su departamento de *recepción*. Con aparatos ultrasensibles se puede

contar el tiempo transcurrido entre la *emisión* del impulso y la llegada del «eco». Dicho tiempo es del orden de la millonésima de segundo. Conocidos este tiempo y la velocidad a que viajan las ondas, es sencillísimo conocer la distancia al objeto que produjo el «eco», aun cuando dicho objeto no se vea, que es lo que normalmente ocurre. El cálculo de esa distancia es automático y lo registra el aparato mismo.

Pero no sólo puede conocerse la distancia, sino también la dirección en la que se encuentra el objeto localizado. Veamos.

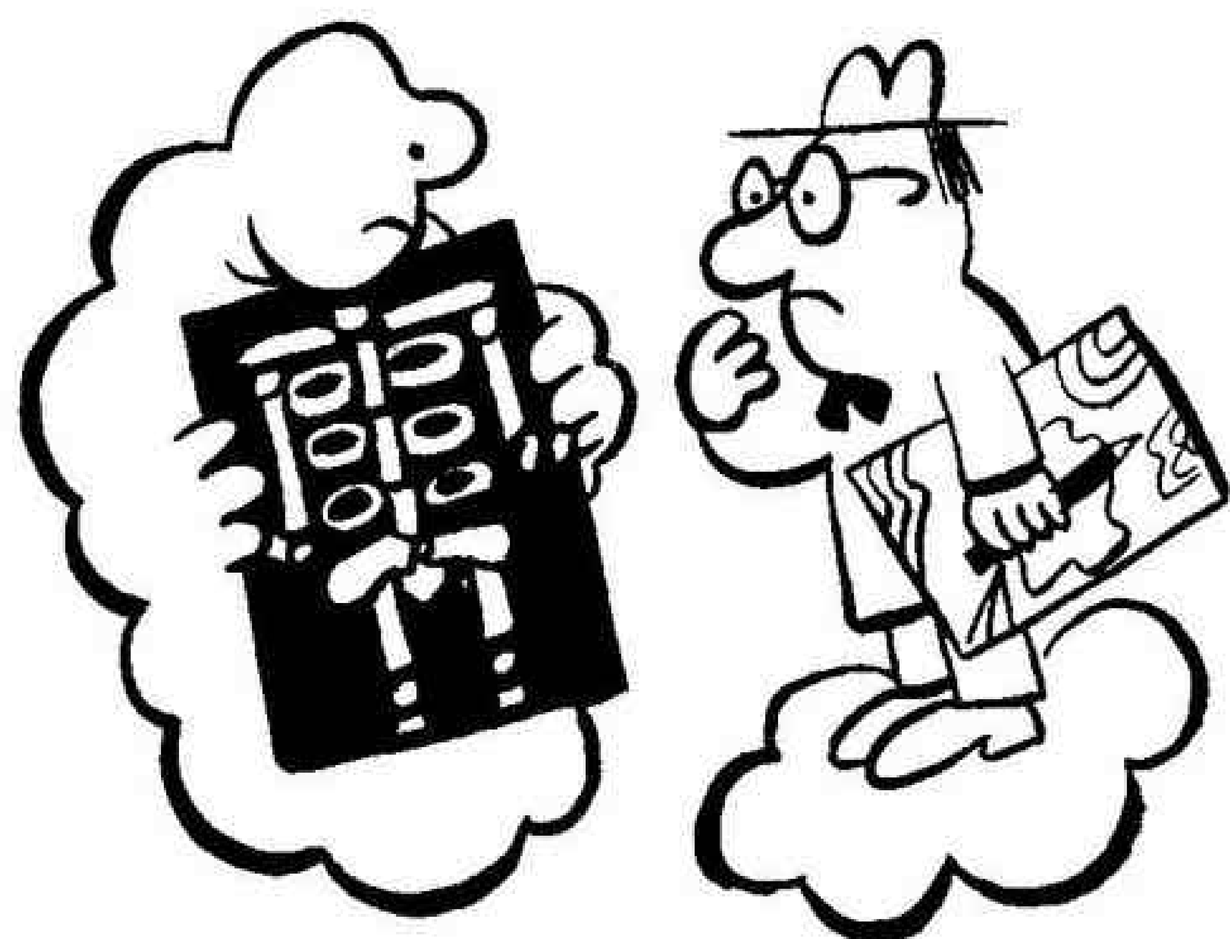
Los impulsos radiados se emiten en forma de un haz muy estrecho, algo así como el chorro de agua de una manguera. Esta especie de chorro de ondas explora el horizonte, dando vueltas continuamente y saliento siempre perpendicular a la superficie de la antena que gira sin cesar. La antena ya saben ustedes que es como una malla metálica, que ha salido en millares de fotografías en la prensa y que recuerda a un trozo de jaula curvada con forma oval.

Cuando el impulso encuentra a su objetivo (el avión que citábamos, por ejemplo), lo hará con una cierta orientación de la antena; de manera que el observador conocerá, no sólo la distancia al «blanco», sino también el ángulo de orientación de éste con respecto al centro emisor. Es decir, conocerá las «coordenadas» que definen su situación en el espacio, y esto tanto en un día despejado como a través de la niebla.

Todas esas operaciones de situar el «blanco», las hace el aparato receptor automáticamente: en una pantalla fluorescente y por medio de un haz de rayos catódicos (es decir, por un procedimiento similar al que proyecta la imagen en la pantalla de un televisor) se dibuja el objetivo automática e instantáneamente. La pantalla, llamada P.P.I. («Plan Position Indicator») en el lenguaje ordinario o «argot» de quienes usan este aparato, es circular y está de tal modo acoplada que su centro coincide con la imagen del propio centro emisor, por lo que la posición del «blanco» se conoce inmediatamente con respecto a la de dicho centro.

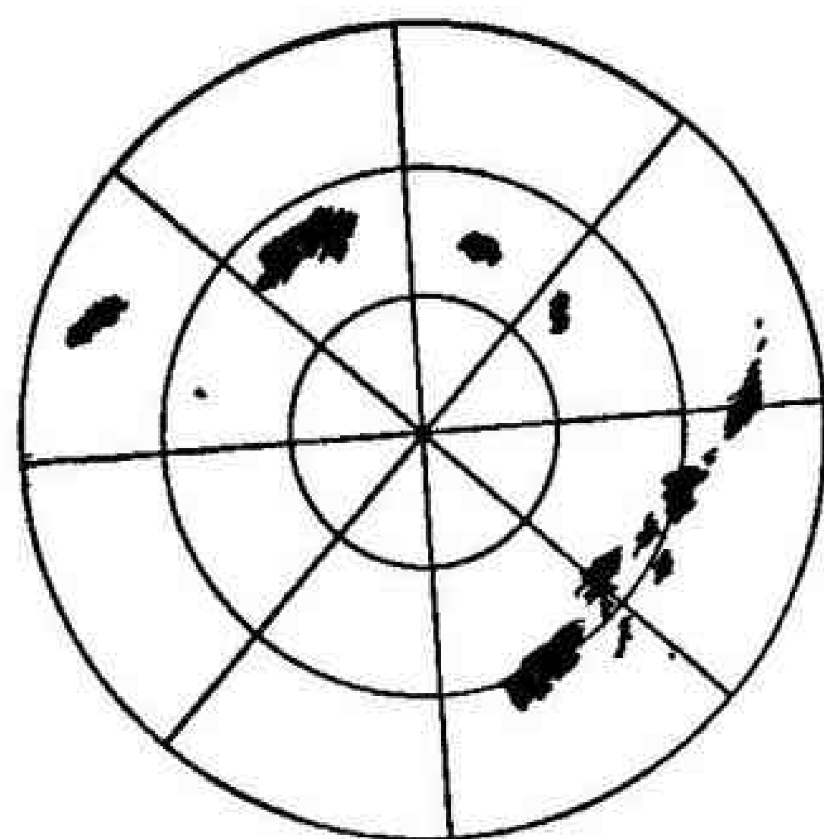
LA RADIOGRAFÍA DE LAS NUBES

No han leído mal, no. Se trata, en efecto, de radiografiar las nubes, no de retratarlas. Porque interesa muchas veces conocer



su estructura *por dentro:* las gotas de agua que la forman, las regiones de su interior donde está el granizo, sus cortinas de lluvia...

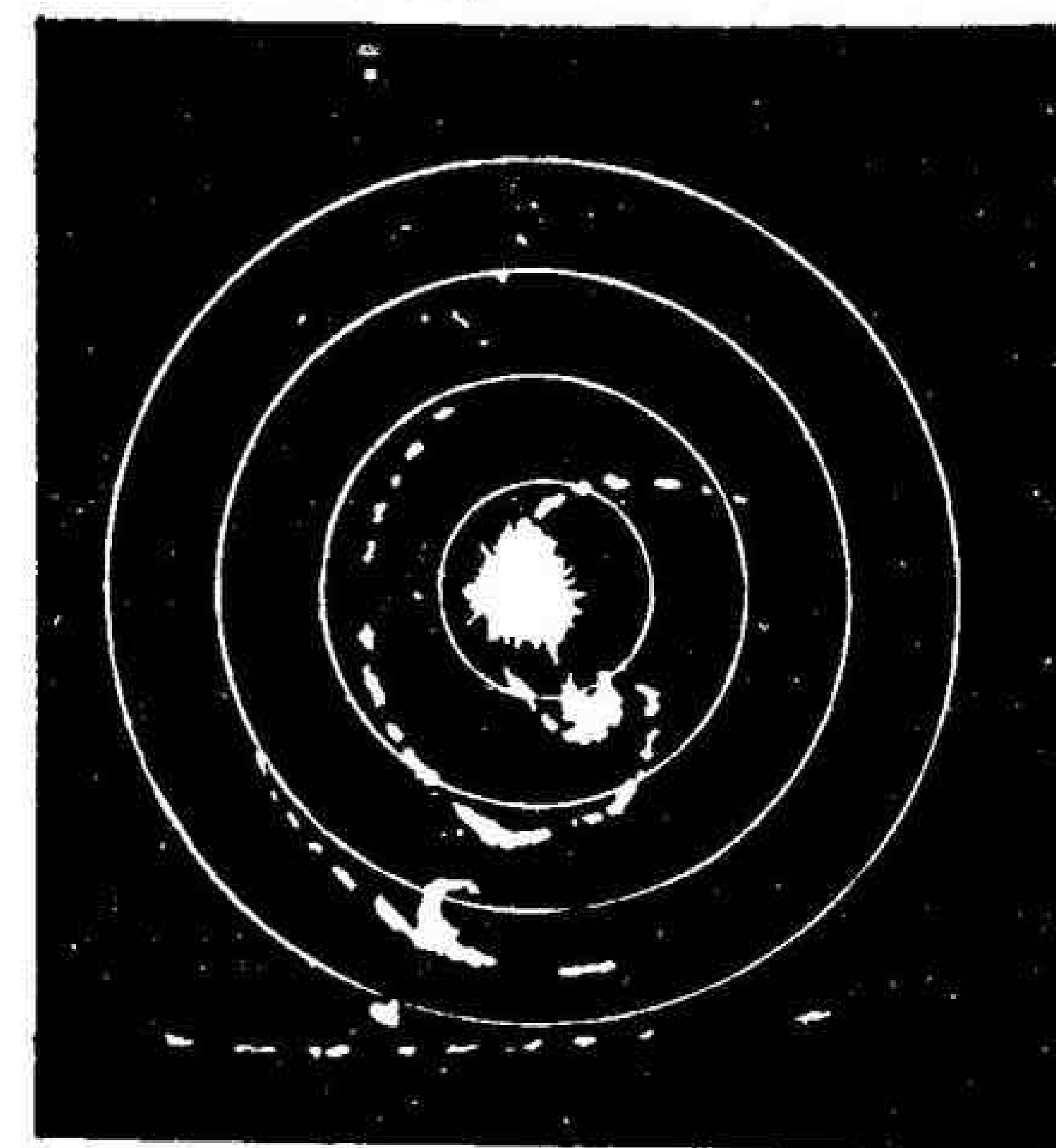
Nuestro aparato de rayos X, para este objeto, es el radar. Porque este útil instrumento no sólo detecta aviones u otros objetos grandes. Usando una longitud de onda más corta, puede detectar también aglomeraciones de minúsculas gotas de agua. Es decir, regiones de lluvia e, incluso, nubes cuyas gotitas son muchísimo más pequeñas que las de la lluvia. El radar que usa este tipo de longitud de onda más corta se llama *radar meteorológico*. Ustedes habrán visto su antena especial en los aviones



modernos: es esa especie de coraza negra que lleva en el morro, como tapándolo.

El radar meteorológico explora el horizonte a todo su alrededor. El que llevan montado los aviones explora *lo que tienen delante*. En la pantalla aparecerán, en ocasiones, una serie de manchas —«ecos»— que son los *obstáculos nubosos* con que tropieza el *chorro de ondas* del haz emitido. Hace falta práctica, desde luego, para deducir de tales «ecos» cuáles se deben a la lluvia, cuáles al granizo y cuáles a la nubosidad. Ya se dijo que las imágenes no son como fotografías, sino como radiografías: de las nubes vemos *su esqueleto* solamente. Los «ecos» de lluvia suelen verse muy bien, por el gran tamaño de las gotas. También resaltan las nubes de desarrollo vertical propias de los frentes fríos y los cumulonimbos tormentosos por las regiones de granizo que contienen. A veces se descubre la nube por el «eco» que da la lluvia que desciende por su interior y que no llega al suelo. Hay que insistir en que el proceso mental para estas deducciones es similar al de *presentir* una lesión interna del cuerpo al ver un esqueleto rodeado de sombras en una pantalla médica de rayos X.

La utilidad del radar meteorológico es extraordinaria para detectar los que se llaman fenómenos de escala intermedia, es decir, aquéllos para los que no bastan los sucesivos mapas del





tiempo para seguir su evolución, debido a la rapidez de su formación, de su evolución propia y de su movimiento. Todos los aviones modernos sortean las tormentas gracias a él. Un ciclón tropical, más pequeño en extensión, como saben, que una borrasca, suele caber enterito en la pantalla de un radar meteorológico, por lo que su vigilancia continua está asegurada.

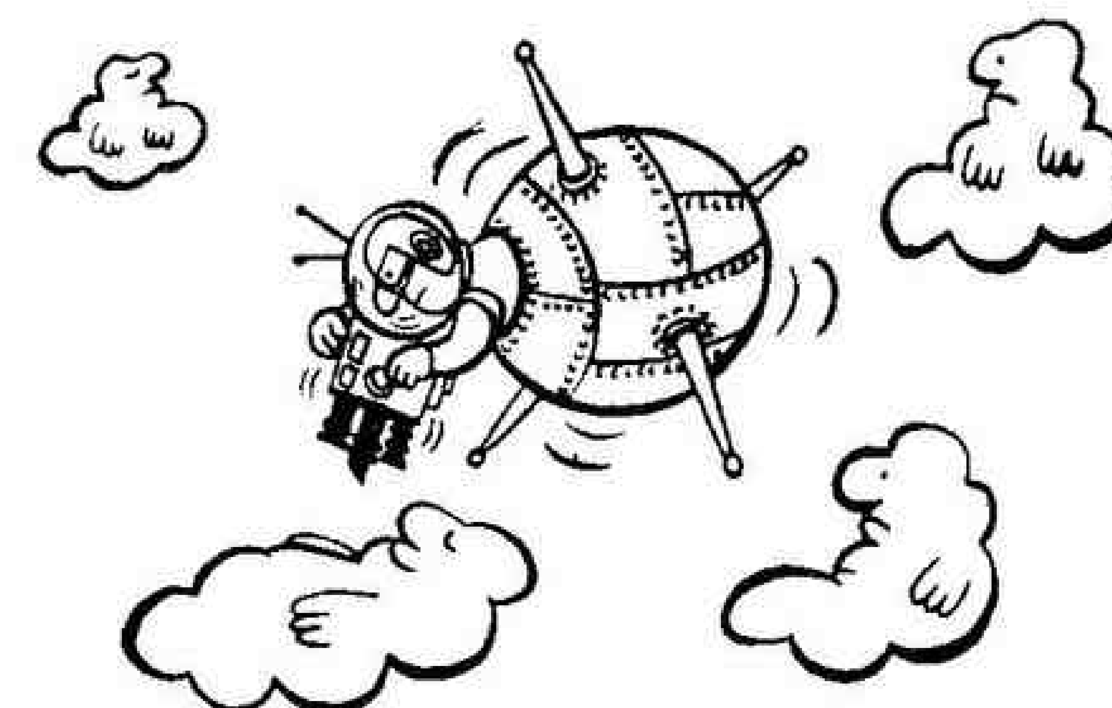
LAS NUBES, DESDE ARRIBA

El lanzamiento del satélite *Tiros I,* puesto en órbita el 1 de abril de 1960, marcó un nuevo jalón en la historia de la meteorología. Al principio, los satélites meteorológicos servían casi únicamente para contemplar las nubes desde arriba. Pero sus funciones fueron aumentando y perfeccionándose a un ritmo acelerado, haciendo realidad y aun superando el famoso mito de Argos y sus cien ojos vigilantes. Piensen tan sólo en las vastas regiones de desiertos, casquetes polares y zonas oceánicas en donde las observaciones meteorológicas son escasas o faltan en absoluto. Los satélites llenan la casi totalidad de esas lagunas, y las llenarán todas.

Los satélites meteorológicos son una maravilla de la electrónica. A lo largo de su órbita, van tomando vistas de nuestro planeta mediante cámaras de televisión y las van transmitiendo a las estaciones meteorológicas. Al principio obtenían y transmitían imágenes del espectro visible, o sea, de la parte de Tierra

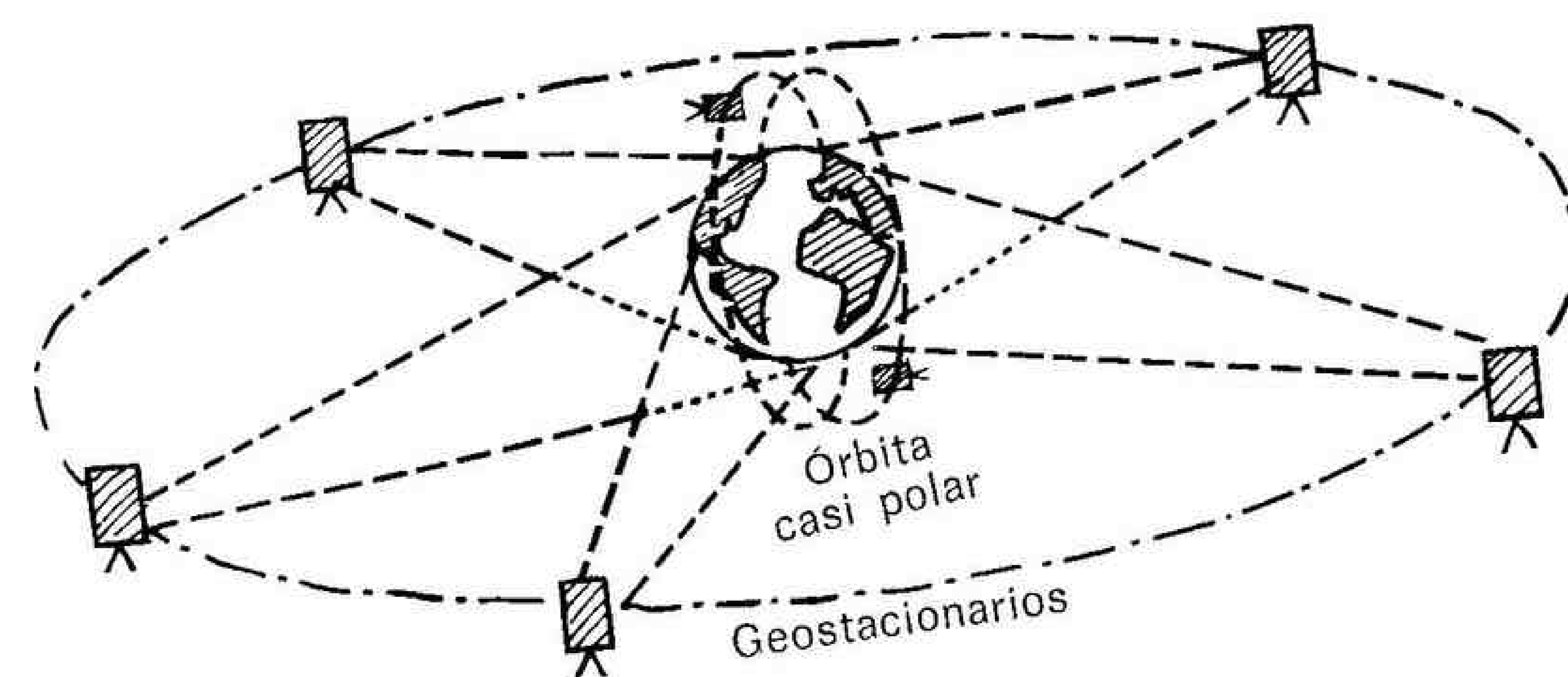
iluminada por el Sol; más tarde pudieron captar y transmitir imágenes en la banda del infrarrojo, con lo que podían obtenerse fotografías de la parte nocturna. Las ventajas saltan a la vista: no es lo mismo deducir la existencia y disposición de los grandes sistemas nubosos interpretando observaciones hechas desde el suelo en lugares dispersos, a veces escasos, que verlo todo en conjunto desde arriba, entero y verdadero. Las imágenes en el espectro visible se obtienen midiendo la luz del Sol *reflejada* sobre todo lo que haya entre el satélite y la superficie terrestre y es casi lo mismo que vería un ojo humano sólo que en blanco y negro, pero distinguiéndose muchos más tonos grises intermedios que los dieciséis que, aproximadamente, somos capaces de distinguir directamente. Tales imágenes se obtienen midiendo la intensidad de esa radiación *reflejada*, mediante instrumentos adecuados o *radiómetros*. Las imágenes en infrarrojo proceden, en cambio, de la radiación calorífica *emitida* (no reflejada) por los cuerpos, que cuanto más calientes están más radiación térmica emiten, de manera que estas imágenes representan en realidad temperaturas, disponiéndose los tonos grises de tal modo que la imagen resulte más oscura cuanto más caliente esté el objeto; así, los suelos caldeados aparecen muy oscuros, casi negros, quedando más claros los mares menos cálidos, mientras las frías cimas de las nubes muy altas aparecen blancas o muy blancas. Estas imágenes, al no depender de la iluminación, pueden obtenerse de noche, siendo observables mediante ellas las altas latitudes de la Tierra durante la larga noche polar.

Pero la cosa no podía quedar en la obtención de imágenes, por muy útiles que éstas sean. Por lo que a la predicción del tiempo se refiere, era necesario que los satélites realizasen son-



deos de presión, de temperatura, de humedad y de viento, que son los parámetros necesarios para poder construir mapas meteorológicos de diversos niveles isobáricos de la atmósfera. Porque hay áreas, como Europa y Norteamérica, donde esa clase de información es abundante gracias a los radiosondeos, aunque en ellas el conocimiento de la situación atmosférica mejora mucho con la información de satélites; pero hay otras extensiones, mayores que ésas, donde la información procedente de satélites *es la única disponible.* De la configuración de las nubes en las fotografías, tanto en el espectro visible como en el infrarrojo, un meteorólogo experimentado puede deducir otros aspectos importantes, tales como la posición, actividad y trayectoria de los ciclones tropicales, y de borrascas en latitudes medias, las áreas con tormentas y su traslación, los frentes fríos y cálidos, las áreas con niebla y las de hielos oceánicos, las áreas con ascendencias y descendencias del aire y los vientos a diversas altitudes. Pero siguen siendo imprescindibles los sondeos para medir la altitud a que se encuentran un buen número de superficies isobáricas, la temperatura y la humedad que reinan en ellas y aplicarles el viento que a cada punto corresponde en cada nivel. Y en esto, el ingenio del hombre, de los físicos e ingenieros diseñadores de los satélites, alcanzan límites sobrecogedores del ánimo. Porque debe quedar bien claro que los satélites no hacen predicciones, como algunas informaciones sensacionalistas pretenden dar a entender; el satélite es un aparato para medir, no un cerebro para predecir. Veamos, aunque sea someramente, cómo realiza el satélite dichas mediciones, pues se trata de procedimientos indirectos y curiosísimos. El satélite no puede medir la presión a distancia, ni siquiera allí donde está, pues para esto último necesitaría ir dotado de un barómetro de tal sensibilidad y tal precisión que hoy no es posible fabricar, pues es tan baja la presión y tan débil su variación con la altura en esos niveles, que el menor error absoluto se convierte en un error relativo grandísimo e inaceptable: piénsese que los satélites están a altitudes entre 850 y 1.500 kilómetros los llamados de órbita polar, que en realidad son de órbita «casi» polar y tardan unos cien minutos en dar cada vuelta a la Tierra; y están a casi 36.000 kilómetros los llamados geoestacionarios. Se está trabajando (y con toda seguridad se conseguirá) en medir la presión en el suelo mediante los satélites, lo que no es nada fácil, pero en el seno del aire esa medición no es posible, aunque sí que lo es la diferencia de unos puntos a otros en la vertical.

Aclararemos lo de la órbita «casi» polar, y lo de los satélites geoestacionarios: las órbitas de los satélites han de ser círculos máximos, es decir, tienen que cortar al ecuador, para que la órbita sea estable; cuanto más alto se sitúe un satélite, más atravesada ha de estar su órbita respecto a los meridianos y más tarda en recorrerla para dar cada vuelta a la Tierra, de tal modo que la velocidad del satélite respecto al suelo es nula (tardaría un tiempo infinito en recorrer la órbita) si está completamente atravesada, es decir, si es perpendicular a los meridianos, o sea, si coincide con el círculo ecuatorial. Por eso, si se quiere tener un satélite inmóvil respecto al suelo hay que situarle en órbita ecuatorial, y para que ésta sea estable la altitud tiene que ser de casi 36.000 kilómetros. Por el contrario, la velocidad respecto al suelo sería infinita (y tardaría un tiempo nulo en recorrer su órbita, lo que es imposible) si la órbita coincidiese con un meridiano, pasando entonces por los polos y siendo realmente una órbita polar. Esto último es, pues, imposible de realizar, aunque pueden ponerse satélites en órbita *casi* polar a altitudes entre los 850 y los 1.500 kilómetros como ya se ha dicho. De éstos se han situado dos, gemelos, con los planos de sus órbitas perpendiculares entre sí y simétricos respecto al eje de la Tierra, pues uno solo únicamente obtendría información de un mismo lugar una vez cada veinticuatro horas, mientras que con los dos gemelos se obtienen cada doce.



Los satélites geoestacionarios están, pues, sobre el círculo ecuatorial y son sincrónicos con la Tierra, por lo que también se les llama «geosincrónicos». A los de órbita no ecuatorial se les llama también «heliosincrónicos», porque son sincrónicos con el Sol, teniendo un movimiento de *precesión* tal que el plano de la órbita gira 360 grados (una vuelta completa) en un año, es decir, algo menos de un grado por día, de manera que el plano de la órbita forma un ángulo siempre igual con el eje de la Tierra, debido a lo cual pasan cada día a la misma hora por la vertical de cada lugar.

Los primeros sondeos experimentales empezaron a finales de los años sesenta y principio de los setenta, con los satélites americanos de la serie «Nimbus». Vino después la serie, también americana, de los «Tiros-N» capaces ya de hacer sondeos en forma operativa, al mismo tiempo que los soviéticos de la serie «Meteor» iniciaban sus primeros sondeos experimentales. A finales de 1980 se iniciaron también los sondeos desde los geoestacionarios, que al ser satélites sincrónicos con la Tierra permanecen siempre sobre la vertical del mismo lugar a la enorme altitud, ya citada, de 36.000 kilómetros sobre la vertical del círculo ecuatorial. Primero se situaron los dos americanos: el «Goes-Este» sobre la vertical del Pacífico pero cerca de la costa sudamericana, y el «Goes-Oeste» sobre la vertical del centro del océano Pacífico; después el europeo «Meteosat-1», lanzado a finales de 1977 y sustituido por el «Meteosat-2» en junio de 1981, estando situado sobre la vertical del golfo de Guinea; después el japonés GMS o «Himawari» sobre la vertical de un punto ligeramente al norte de Australia; posteriormente se situó en órbita el soviético «Goms», sobre la vertical del océano Índico, casi sobre su centro. Además, está el «Insat», de la India, con doble uso de comunicaciones y meteorología, muy próximo al ruso.

Todos los satélites llevan, como mínimo, cuatro sistemas fundamentales de instrumentos: uno para obtener imágenes, tanto en el canal visible como en el infrarrojo; otro, el más complicado, con varios radiómetros especiales, diseñado con el exclusivo objeto de realizar sondeos de temperatura y humedad en la atmósfera; un tercero para medir la actividad solar, y otro más, para localizar y recibir los informes de las llamadas «plataformas de concentración de datos», de las que después hablaremos algo. Los datos obtenidos con estos instrumentos se transmiten a tierra, por enlace directo con los centros de control, en

tres emisiones distintas que realiza el satélite. Por el momento, son los satélites de órbita casi polar, de la serie «Tiros-N», los que poseen un sistema más perfeccionado para hacer sondeos en forma operativa, lo que ha obligado a introducir nuevas técnicas de trabajo, ya que al no estar inmóviles respecto al suelo, los sondeos que realiza, continuamente, son sucesivos, por lo que no corresponden a la misma hora, no son simultáneos, como ocurre con todas las observaciones que a horas fijas, llamadas «horas sinópticas», se hacen desde tierra o desde satélites geoestacionarios; por ello, hay que introducir una cuarta coordenada, una cuarta dimensión: el tiempo cronológico, con lo que ha habido que desarrollar las nuevas técnicas del llamado análisis tetradimensional o cuadridimensional para el tratamiento de estas observaciones (como otras hechas desde aviones comerciales) que no son «sinópticas» y a las que se denomina «asinópticas».

Estos sondeos, de temperatura y humedad, requieren una técnica muy complicada y muy compleja, basada en la medida de la radiación térmica, complementada por la de la radiación en microondas, que emite la Tierra y que recibe el satélite, siendo necesario complementar con la radiación en microondas porque la radiación térmica pura no pasa a través de las nubes, mientras que la de microondas sí, con la única excepción de sistemas nubosos con precipitaciones muy intensas. Y vamos a intentar dar una idea del complejo y complicado proceso que conduce a la obtención de los sondeos de temperatura y humedad.

La superficie terrestre emite radiación térmica y en microondas con longitudes de onda que abarcan una banda muy ancha del espectro. De esas longitudes de onda hay unas cuantas, en una banda estrecha, para las que la atmósfera resulta prácticamente transparente; las otras son absorbidas, unas por el anhídrido carbónico y otras por el vapor de agua en cantidades que dependen de la concentración de cada una de esas sustancias y de sus temperaturas, respectivamente. La distribución media, por capas, del anhídrido carbónico en la atmósfera es conocida, variando muy poco, lo que no sucede con el vapor de agua cuyas variaciones son grandes. Lo mismo para la banda de longitudes de onda absorbidas por el anhídrido carbónico, que para la absorción del vapor de agua, la distribución de las diversas longitudes de onda es representable mediante una curva campaniforme, que es distinta para cada intensidad de radia-

ción, y tales curvas son conocidas, estando introducidas en la memoria de un computador. Los radiómetros del satélite sólo pueden medir la radiación que llega hasta ellos, y la clasifican por longitudes de onda, de manera que las que falten de la banda de absorción del anhídrido carbónico es que han sido absorbidas en el camino. Las que son recibidas y medidas por el satélite se encajan por el computador (que trabaja en tierra con los datos que le transmite el satélite) en la curva que les corresponde según su intensidad, deduciéndose de ella en qué capas han ido siendo absorbidas las restantes; como esta absorción depende de la concentración del anhídrido carbónico (conocida) y de su temperatura (que es la misma del aire) deduce el computador cómo varía la temperatura con la altura o, como se dice técnicamente, cómo es el perfil de temperaturas en la vertical del satélite, y partiendo de la temperatura superficial del mar (calculada aparte por el computador mediante los datos que le suministra el satélite sobre la radiación infrarroja emitida, por dicha superficie, en longitudes de onda para las que la atmósfera es casi transparente) se deducen las temperaturas a cada nivel. Por un procedimiento similar se trabaja en la banda de absorción del vapor de agua, y como ya se conoce la temperatura a cada nivel, se deduce la humedad o contenido en vapor del aire en los sucesivos estratos. Los cálculos, insistimos, son muy complicados y sólo puede hacerlos el computador de tierra especialmente programado para ello.

Conocidas así la temperatura y la humedad de sucesivos estratos o capas de aire, se deduce la densidad media de estas capas en cada sondeo y de ahí se obtiene cuál es el espesor necesario para que haya una diferencia de presiones elegida. Es decir, el satélite no puede medir la altitud a la que se encuentran los 500 milibares, por ejemplo, pero sí puede decirnos qué distancia vertical hay entre los 1.000 y los 500 mb, y como aquí abajo tenemos el mapa de isobaras con el valor de la presión al nivel del mar, es inmediato deducir con escasísimo error la altitud a que se encuentran los 1.000 mb (que siempre están cerca del suelo), y sumando a ésta la diferencia de 1.000 a 500 dada por las medidas del satélite, se obtiene la altitud de este último nivel. Y lo mismo para otro nivel cualquiera. La información procedente de los dos satélites gemelos «Tiros-N», de órbitas casi polares simétricas respecto al eje de la Tierra, permite elaborar unos diez mil sondeos cada veinticuatro horas.

Nos queda el cálculo del viento, el cual se mide con los otros satélites, con los geoestacionarios, pues es necesario que el observador esté inmóvil respecto a la Tierra y que tenga, además, una gran estabilidad, para que el eje de la cámara o del radiómetro no oscile y falsee las medidas, lo cual se logra dotando al satélite geoestacionario de un movimiento de rotación alrededor del eje del radiómetro, de unas cien revoluciones por minuto, con lo cual se comporta como un giroscopio, manteniendo inmóvil el eje de giro. Para medir el viento se eligen determinados tipos de nubes de las que se mueven arrastradas por él (cosa que no a todas ocurre) y se identifican en las fotografías determinados rasgos fácilmente reconocibles de unas fotos a otras, siguiendo su traslación en sucesivas imágenes a intervalos de treinta minutos. Previamente y por un procedimiento electrónico que selecciona temperaturas, se separan las nubes correspondientes a distintas altitudes, obteniéndose la dirección y la fuerza del viento para cada nivel. En áreas con cielo despejado o con nubes no trasladables con el viento, no puede, hoy por hoy, calcularse el viento. Por esto, el número de ellos calculados así es muy variable en cada ocasión, pues depende de la nubosidad existente; en promedio vienen a calcularse unos mil vientos por cada uno de los satélites geoestacionarios, cada día. Está en estudio un procedimiento para deducir el viento de la medida de las velocidades de las partículas de polvo y gotículas de agua que hay siempre en suspensión en el aire, menos abundante cuanto más arriba. Otros datos, calculables por los satélites con vistas a la llamada «predicción numérica» son, por orden de importancia, la temperatura superficial del agua del mar (no la del primer metro de agua como hacen los barcos, sino la de la «piel» del mar), altitud de la cima de las nubes, cantidad de nubosidad por zonas, radiación que entra en la atmósfera desde el exterior y la que sale de ella. Como consecuencia de ello, y sin que entremos en detalles, se está empezando a predecir (con variable éxito) la cantidad de agua «precipitable» por las nubes, a alertar de la extensión sobre el suelo de capas de aire con temperatura de cero grados o inferior, para fines agrícolas; y sobre la trayectoria y actividad de ciclones tropicales, de áreas con fuertes tormentas de granizo o de intensas nevadas. Puede determinarse la intensidad del viento que sopla sobre el mar, utilizando el llamado «medidor de dispersión» que funciona con microondas como un radar y que mide los rizos que en la su-

perficie marina provoca el viento, obteniéndose valores medios para áreas de unos 50 kilómetros cuadrados, aunque sólo la intensidad, no la dirección del viento. Se mide también desde el satélite la altura de las olas con gran precisión mediante un «altímetro radárico», pero sólo sobre la estrecha franja que queda bajo la vertical de la órbita del satélite, quedando estas franjas separadas unas de otras por distancias de 2.000 kilómetros en las latitudes medias, de manera que son poco útiles estas observaciones al ser fraccionadas. Las corrientes en chorro pueden ser localizadas en las fotografías por una especial línea de «cirrus» que suele acompañar al eje de dicha corriente, muy útil para la aviación. Como novedad importante, el «Meteosat» facilita información en forma de «imágenes del vapor de agua», es decir, datos en forma visible de la humedad media existente en la troposfera superior, entre los cinco y los once kilómetros de altitud, siendo tanto más claros los tonos grises de la fotografía cuanta mayor humedad haya; lo que permite matizar la probable actividad de una perturbación, ya que una borrasca es más activa cuanto más húmedo sea el aire.

No se agota, con lo dicho, la utilidad de los satélites meteorológicos. Aparte de importantes misiones para investigación, está su capacidad de concentrar y reemitir datos de esas plataformas a las que antes hicimos referencia. Tales «plataformas de concentración» son mecanismos de medición, automáticos, de determinados parámetros, que enlazan con los satélites mediante un transmisor. El tamaño de estos ingenios no es mayor que el de una maleta mediana y tienen un peso que no supera los 20 kilos. Hay tres tipos básicos: las de «horario autoprogramado», que hacen observaciones cada diez minutos, las almacenan y transmiten al satélite a horas prefijadas, por ejemplo, cada seis horas; las «interrogables» que sólo observan y transmiten cuando reciben la orden a través del satélite, y las «alertadoras» que hacen observaciones con una determinada frecuencia, pero que sólo las transmiten al satélite cuando los fenómenos observados, por ejemplo, la velocidad del viento o el nivel de un río, rebasan un cierto valor preestablecido. Hay plataformas de éstas que son móviles, tales como boyas a la deriva, o globos libres a nivel constante, las cuales no pueden indicar su posición y han de ser localizadas por los satélites de órbita casi polar, como los «Tiros-N», que lo hacen con una precisión de uno a dos kilómetros, recibiendo datos de hasta 200 de ellas simultáneamente y de

hasta 4.000 de ellas en todo un día. El seguimiento de estas boyas permite, además, determinar las corrientes marinas, y el seguimiento de globos de nivel constante es un modo fácil de calcular los vientos reinantes en el nivel correspondiente.

No queremos agobiar con más detalles sobre el uso de los satélites meteorológicos; baste decir que se sigue trabajando en obtener de ellos más y más utilidad, que las posibilidades son casi ilimitadas y que de día en día nos irán dando nuevas sorpresas.

PREVISIÓN AUTOMÁTICA

La evolución del tiempo es un proceso natural continuo, sujeto a leyes físicas. Muchos científicos se han *quemado las pestañas* investigándola teóricamente, consumiendo muchas horas de sus vidas en buscar una solución matemática al enigma. Y han logrado reducirlo a un sistema de ecuaciones. Lo malo es que las variables que intervienen son muchas. Una de ellas es el tiempo, pero no el atmosférico, sino *el del reloj,* el cronométrico, el que transcurre con las horas.

Desde un punto de vista matemático, una predicción atmosférica es solamente el resultado o solución de estas ecuaciones al ir dando a la variable *tiempo* (cronométrico) sucesivos valores hasta completar el número de horas deseado. Es decir, partir del momento *actual* y dar a esa variable un valor que abarque veinticuatro, cuarenta y ocho, setenta y dos, noventa y seis... o hasta ciento veinte horas. Matemáticamente, pues, el problema teórico de la predicción está resuelto. Está resuelto *en el papel:* basta partir de las condiciones iniciales de la atmósfera en un momento dado, calcular las ecuaciones, *extrapolar* la variable *tiempo cronométrico* hasta el valor en horas deseado... y ya está.

En el papel.

Veamos lo que pasa en la práctica: los primeros ensayos se hicieron recién terminada la Primera Guerra Mundial, por un matemático británico llamado Lewis Fry Richardson, a quien le vino la idea e hizo sus primeros cálculos teóricos durante el final de la guerra, cuando recorría con una ambulancia, transportando heridos, los campos de Francia. En 1922 publicó un histórico libro: «Previsión del tiempo por un proceso numérico.» En él exponía el método y lo aplicaba a un ejemplo concreto, que pu-



blicó a pesar de que el pronóstico le había salido mal. No olviden que había que resolver *miles de ecuaciones* de la matemática superior, pues se dividió una extensa región de Europa en pequeñas cuadrículas y cada una de éstas implicaba un sistema de siete ecuaciones. Más adelante se dio con el motivo del fracaso de Richardson, que estribaba en ciertos detalles o condiciones que se escapaban, *filtrándose* entre las ecuaciones: como si se quisiera recoger un puré muy espeso, pero puré, con un colador; por fino que éste sea, siempre se escapa algo.

Pero, aun pulidas dichas ecuaciones y *tapados los agujeros*, con lo que se obtuvieron años más tarde soluciones aceptables, la resolución numérica de tan enorme cantidad de ecuaciones llevaba *un año de trabajo* de un equipo de matemáticos, para tener listo... «cómo será el mapa del tiempo de mañana», es decir, del día siguiente a aquel en que se empezó a calcular.

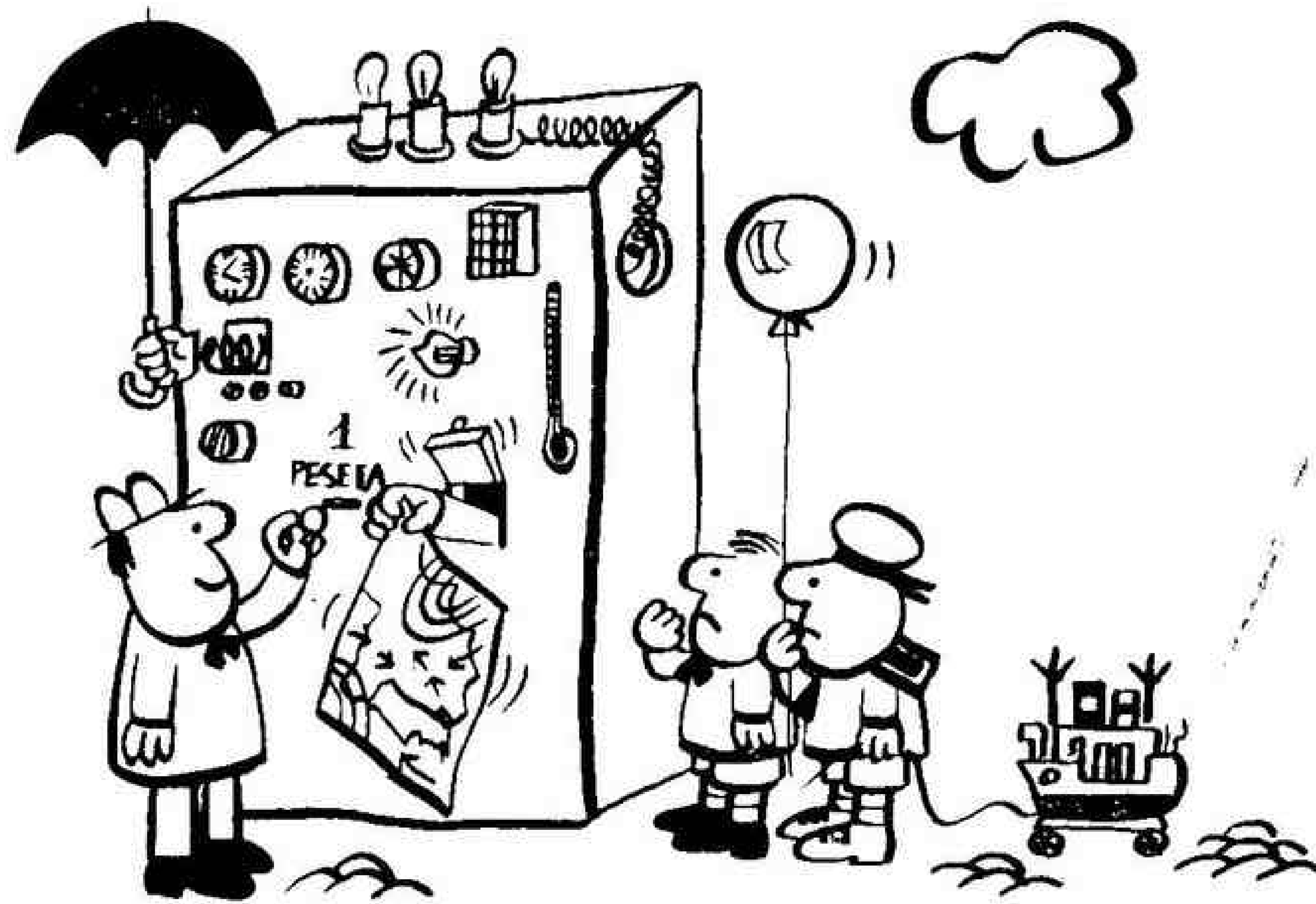
El problema se abandonó, naturalmente, hasta que vino la electrónica en ayuda de la ciencia del tiempo. ¿Cómo?: en forma de esas impresionantes calculadoras electrónicas que efectúan millares de operaciones matemáticas *por segundo*.

Comenzaron de nuevo las investigaciones, apoyadas por tan poderosos auxiliares y los resultados fueron extraordinariamente alentadores. Tanto que, hoy, la llamada «predicción numérica»

es ya un trabajo rutinario en los grandes centros de análisis y predicción de varios países.

Se empieza por introducir en la máquina todos los datos necesarios, que son las observaciones meteorológicas de una extensa región de la Tierra, casi siempre todo un hemisferio. Esos datos que se dan al calculador electrónico son justamente los que intervienen en las ecuaciones meteorológicas de que antes les hablé, pero que ahora van a ser resueltas de un modo totalmente automático por un órgano especial de la máquina, adecuadamente preparado. En un santiamén el artefacto ha resuelto las ecuaciones sin error y entrega los resultados. Pero no en forma de números, sino de una manera más asombrosa aún: *en forma de mapa del tiempo ya dibujado,* pero un mapa del tiempo *previsto,* es decir, con sus isobaras objetiva y auto-





máticamente trazadas para dentro de veinticuatro, treinta y seis, cuarenta y ocho, setenta y dos, noventa y seis, ciento ocho o ciento veinte horas.

Aparentemente, ¡qué sencillo! Usted mete los datos por una ranura, le da a un botón y por otra rendija sale, a la media hora, un mapa del futuro. Igual que para obtener el horóscopo en una barraca de feria. Pero, ¡cuánto esfuerzo, cuánto cálculo, cuánto dinero y cuántas vidas gastadas para llegar a ello!

Actualmente los servicios meteorológicos difunden, de unos centros a otros, por un procedimiento de «facsímil», predicciones automáticas no sólo del mapa de superficie, sino de las distintas alturas o niveles isobáricos, mapas de topografías relativas (recuerden: ¡los mapas de la verdad!) previstas, mapas también previstos de la tropopausa...

Eso del «facsímil» no es más que un procedimiento especial de «telefotografía».

Todos los mapas previstos suelen contener errores. Sobre todo cuando en la atmósfera predominan los movimientos de aire de norte a sur o de sur a norte, es decir, cuando hay lo que se llama «circulación meridiana». En cambio, cuando predomina la «circulación zonal», o sea los movimientos de oeste a este, las cosas salen mejor.

De todas maneras y aun dando por bueno el mapa previsto,

queda algo importante y difícil, algo decisivo en lo que interviene el hombre directamente con su experiencia, con su saber, con su «ojo meteorológico» y con su arte de predictor: la interpretación de dicho mapa. Porque una cosa es calcular *cómo será mañana el mapa del tiempo*, y otra, bastante distinta, decir *qué tiempo hará mañana*, o pasado, en tal lugar.

El meteorólogo-hombre, o mejor el predictor-hombre, seguirá siendo insustituible frente al ingenio electrónico, frente a la máquina, frente al meteorólogo con cerebro de transistores, pese a que las máquinas resulten ya indispensables.

ESTADO ACTUAL DE LA PREDICCIÓN NUMÉRICA

Los plazos de pronóstico por los procedimientos de la predicción numérica van alargándose poco a poco mediante los llamados *modelos matemáticos* de predicción, que necesariamente han de ser resueltos con computadores capaces de realizar por lo menos cincuenta millones de operaciones por segundo; se llega así a pronósticos para seis días, seis días por separado, uno tras otro; la bondad de los resultados sigue variando bastante según que domine en la atmósfera la circulación de vientos «zonal» o la «meridiana». En promedio y tal como están las cosas actualmente, dicha bondad disminuye claramente a partir del cuarto día; al disponer de computadores aún más potentes, el plazo se puede alargar hasta diez días, y es muy probable que no se tarde mucho en obtener buenos resultados hasta el día décimo. Pero, ¿se podrá seguir alargando el plazo para pasar, *por los mismos procedimientos*, a plazos de un mes, de una estación o de un año, es decir, al plazo claramente largo? No parece probable, porque para predecir a plazo medio es necesario calcular sobre datos de observaciones abundantes de todo un hemisferio, o incluso de todo el globo, en casi dos docenas de niveles atmosféricos; el aumento del número de datos y el de niveles a estudiar exige mayor velocidad de cálculo para tener los pronósticos con suficiente anticipación, y podrán mejorar la calidad de esos pronósticos y su detalle, pero no aumentar el plazo de predicción. El Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio, sostenido por diecisiete países europeos (entre ellos España) estrenaba en 1983 un nuevo computador especial, capaz de realizar *doscientos millones de instrucciones por segundo*, para ampliar

así el número de niveles atmosféricos a estudiar y para asimilar el aumento de información procedente de satélites. Pero sin por ello rebasar el plazo de diez días para el pronóstico. Se alcanzan los diez días porque para ese intervalo puede calcularse bien el movimiento de las llamadas «ondas largas» que aparecen en las líneas de corriente del viento; pero la bondad del pronóstico es fácil que se vaya deteriorando al ir extrapolando los datos de partida para aumentar el plazo de predicción. Ello es debido a las perturbaciones «menores» u «ondas cortas» que, incrustadas en las otras, no suelen ser de tipo sinusoidal y no se ajustan en su movimiento y desarrollo a leyes invariables. Rebasando el plazo medio, ni siquiera las ondas largas pueden predecirse con aceptable garantía, pues para ello sería necesario que la Tierra fuese de mayor tamaño que el que tiene. El salto del plazo medio al plazo largo exige, por ello, técnicas totalmente distintas; la meta de un pronóstico a largo plazo no puede, en consecuencia, ser la de describir el tiempo probable día por día, ni siquiera semana tras semana, sino más bien las condiciones medias que van a dominar en un mes o en una estación completa: *es una predicción de clima, no del tiempo.* Lo que se salga de esto no tiene, al menos por hoy, ninguna garantía científica, ninguna garantía seria.

LA PREDICCIÓN A LARGO PLAZO

En la búsqueda de métodos de predicción a largo plazo, hay intentos serios muy variados, que se basan en la observación de determinados fenómenos naturales y su correlación con la distribución promedia, posterior, de lluvias y temperaturas. Tales fenómenos son, por ejemplo, el complejo de actividad solar y campo geomagnético, correlacionados con la circulación general atmosférica, que puede dar información sobre si va a predominar en meses venideros esa circulación que hemos citado como zonal o la otra, la meridiana, y con ello sobre la probabilidad de abundancia o escasez de humedad en la atmósfera de diversas grandes regiones.

Pueden también tomarse como datos base las anomalías en las temperaturas medias superficiales del agua del mar, en base a que en áreas con anomalías positivas (temperaturas medias más altas que lo normal en ellas) encontrarán facilidades los procesos de ciclogénesis (formación de borrasca), mientras que en las de anomalías negativas la facilidad será para la anticiclogénesis (nacimiento o reforzamiento de anticiclones); de este modo pueden predecirse las trayectorias más probables que, por término medio, seguirán las borrascas y los anticiclones en el siguiente período, de análoga duración de aquel para el que se han calculado las anomalías.

Según se ha podido observar, hay determinadas áreas oceánicas especialmente representativas a este respecto, cuyas anomalías térmicas son muy significativas; son las denominadas EAZO, siglas en inglés de «Zonas Oceánicas Energéticamente Activas», las cuales en el hemisferio norte parecen estar ligadas de algún modo a las más importantes corrientes marinas cálidas, en las ramas de ellas que se dirigen hacia latitudes superiores, o bien donde por su relativa proximidad haya una interacción entre ellas y otras corrientes frías. Así, relacionadas con la corriente del golfo de México, están como zonas energéticamente activas las del área más occidental del mar de los Sargazos, otra al sudeste de Terranova, y otras en el mar de Noruega y en las zonas del límite sur de los hielos polares del estrecho de Davis y del sudeste de Groenlandia. En el Pacífico y en el Índico hay otras dos importantes: una relacionada con la corriente cálida del «Kuro Shio» al sudeste de Japón, y otra relacionada con la llamada corriente «del Monzón», al sudeste y al este de la India. Aunque hace muchos años que se está estudiando la evolución climática en la Tierra, no acaba de tenerse certeza sobre cómo funcionan los procesos que conducen al modo de variar nuestros climas por causa de las variaciones en dicha actividad, habiendo incluso notables contradicciones entre diversos investigadores; sin embargo, parece ir ganando terreno la teoría de que el campo geomagnético sufre notables perturbaciones por causa de las corrientes, intensas y racheadas, del llamado «viendo solar», que penetra en nuestra atmósfera cuando la actividad es grande en el Sol: la llegada de numerosísimas partículas radiactivas y dotadas de notable energía es la causa de dichas perturbaciones, las cuales se propagan en forma de ondas magnéticas e hidrodinámicas que afectan, perturbándola, a la circulación general atmosférica y que deben tenerse en cuenta en los modelos matemáticos de predicción a largo plazo.

Esta última está, pues, prácticamente en sus comienzos y queda mucho camino por recorrer para poderla considerar ope-

INICIACIÓN A LA METEOROLOGÍA

rativa; aunque hay ya mucho trabajo planteado y más aún planeado, que aun con la inestimable e imprescincible ayuda de la informática y la tecnología, necesitará no pocos años de labor para convertirse en una realidad útil.

CAPÍTULO XIV

UNA PREGUNTA INQUIETANTE

De cuando en cuando ocurren en el clima trastornos perjudiciales o anomalías muy duraderas. En la prensa aparecen, entonces, reportajes o simples notas de corresponsales donde se explica cómo «los más viejos de la localidad no conocieron nada semejante». Claro que lo que suele ocurrir es que andan mal de memoria, como se demuestra en seguida sacando a relucir las



estadísticas. Pero en tales ocasiones, infaliblemente, surge la pregunta al profesional: «¿No será esto consecuencia de las explosiones atómicas?»

El tema es resbaladizo; científicos eminentes no acaban de estar totalmente de acuerdo y suelen soslayar el emitir opiniones categóricas. Es, sin embargo, una pregunta que debemos afrontar los profesionales de la meteorología. Y en este capítulo voy a correr el riesgo de «echar mi cuarto a espadas» sobre el particular. Muy someramente, desde luego, y bien entendido que no pretendo sentar cátedra, sino exponer una opinión personal: si es o no acertada, es posible que sólo las generaciones venideras puedan juzgarlo con suficiente fundamento. Aquí voy a tratar de razonar con lo que me parece buena lógica; nada más.

HACIENDO MEMORIA

El año 1945 marcó un hito en la historia de la humanidad. En ese año dos ciudades japonesas fueron prácticamente borradas del mapa: Hiroshima y Nagasaki. El explosivo nuclear demostraba, por primera vez, su apocalíptica potencia. En 1945 el hombre entró en la Era Atómica. Desde entonces se han multiplicado las pruebas con explosivo atómico por parte de los dos colosos norteamericano y soviético. Francia, Gran Bretaña, China y la India las han realizado también, o las realizan, a escala más modesta. Las explosiones ocurrieron al aire libre unas veces y subterráneamente otras. Las primeras han lanzado a la atmósfera incontables partículas cargadas de radiactividad.



Son bastantes las veces que en entrevistas para la prensa ha salido a relucir este tema. Y en mi archivo poseo numerosas cartas de personas que se interesan por tales asuntos, desde un punto de vista meteorológico, claro está. Una sequía larga, una inundación grave... y ya está *en la calle* el interrogante: «¿Tienen la culpa las bombas atómicas?» «¿Están modificando el clima las explosiones nucleares?»

EL TRIPLE EFECTO DE UNA BOMBA ATÓMICA

Antes de contestar *por lo derecho* a estas preguntas, vamos a ver cómo *funciona* una bomba nuclear *en el seno de la atmósfera*. Su acción sobre ésta es, a grandes rasgos, triple.

Por un lado, la tremenda onda expansiva —que los americanos llaman *blast*—, que por sí sola provoca la destrucción de edificios enteros. Simultáneamente aparece una producción terrorífica de calor, que calcina todo lo que encuentra a su paso, *volatilizando* gran cantidad de materia. En tercer lugar está la emisión de peligrosísimas partículas radiactivas, algunas de las cuales tienen poca «vida», mientras que otras la conservan por larguísimos períodos de tiempo. La lluvia las precipita a la superfie terrestre desde las alturas; otras veces caen ellas por su propio peso. La Tierra queda contaminada por un período más o menos largo...

LA ONDA DE PRESIÓN Y LA ONDA DE CALOR

Los fenómenos inmediatos a la explosión de una bomba atómica, «mecánicamente» considerados, no difieren gran cosa de los de una bomba corriente de trilita: ambas producen una onda expansiva y un calor repentino. La diferencia está en la *magnitud* de dichos fenómenos. Los de la bomba atómica son, como ustedes saben, desproporcionadamente mayores que los

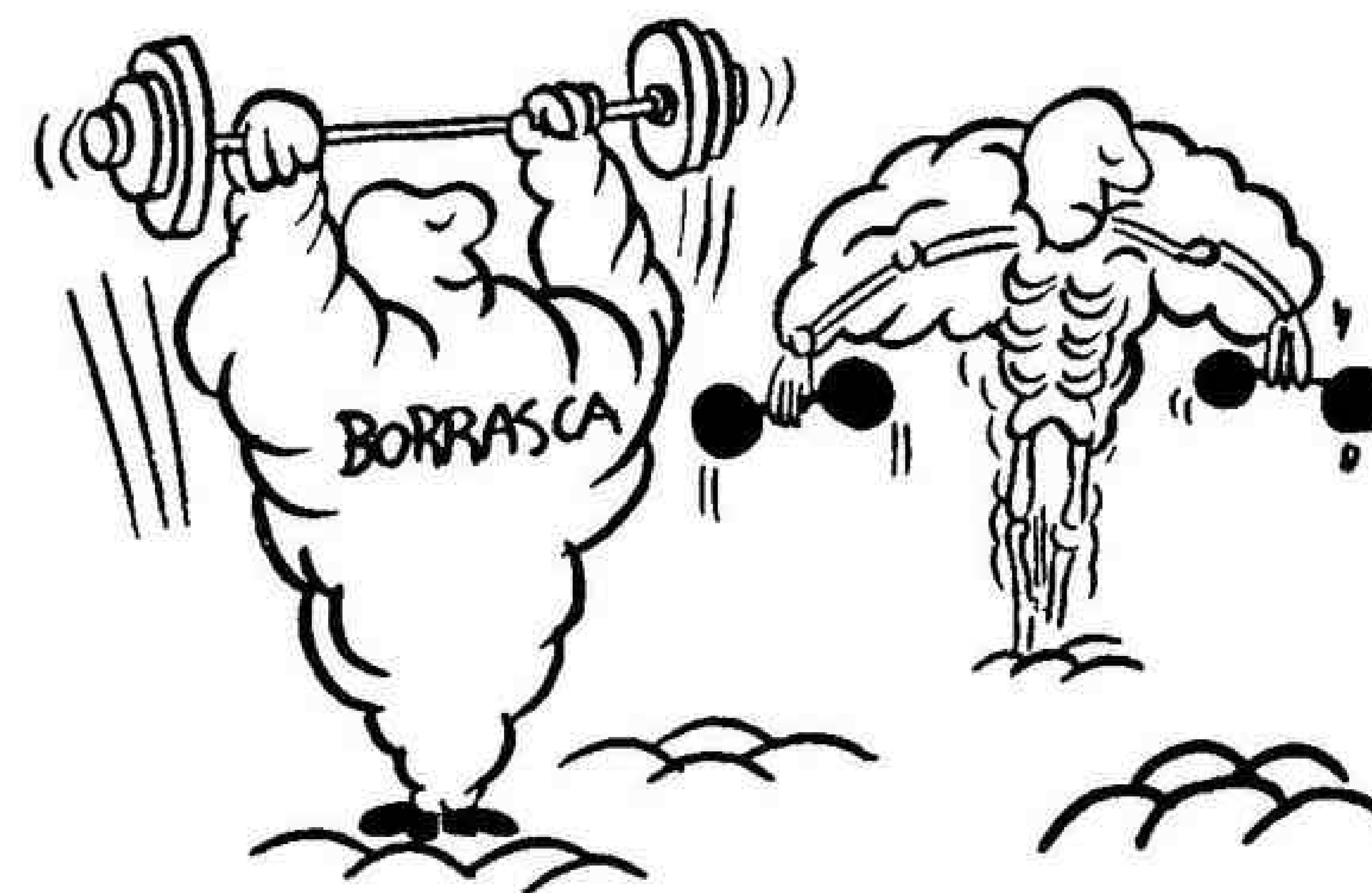
de una granada clásica: una bomba «A» de 15 *kilotones* tiene la misma potencia que 15.000 toneladas de trilita. Una bomba «H» de dos *megatones*, la de dos millones de toneladas de trilita.

Es lógico, según esto, que nos preguntemos si tan colosales despliegues de energía no producirán algún trastorno en nuestra máquina atmosférica.

La onda expansiva de una bomba nuclear es brutal: si pasa sobre un edificio éste estalla, reventándose. Evidentemente, siendo como es la atmósfera un medio continuo y elástico, cualquier perturbación en uno cualquiera de sus puntos, tiene que transmitirse a los demás. Por tanto, la onda expansiva influye en ella. Claro que, según este razonamiento, también debe influir la onda de presión creada por el sonar de tambores en la selva africana. Influir, lo que se dice influir, no cabe duda que influyen, sólo que *no lo podemos notar*, tan pequeño es su efecto en el total general de la circulación atmosférica. Porque es el caso que, echando cuentas de verdad, esa colosal energía (colosal a escala humana) de una bomba nuclear, es miles de veces más pequeña que la que desarrolla una vulgar borrasca de tipo medio. Y algo similar dijimos al hablar de los ciclones tropicales. Es, resumiendo, como añadir un garbanzo más a la comida preparada para todo un regimiento; el garbanzo está allí, no cabe duda que hay más comida, pero no hay quien lo note:

La influencia de la onda expansiva de una explosión atómica, en el océano atmosférico, debe ser exclusivamente local.





En cuanto a la onda calorífica, el súbito y abrasador calentamiento del aire, que obliga a éste a elevarse violentamente para condensar todo su vapor de agua y producir el clásico «hongo», no supone más efectos *directos* que los de un cumulonimbo a escala algo gigantesca. La acción inestabilizadora de la onda calorífica puede extenderse a algunos cientos de kilómetros, provocando chubascos o anulando los efectos de un frente cálido que llegue en ese momento. Pero todo esto en forma pasajera y sin alcanzar distancias excesivas. Lo mismo hay que decir de los vientos anormales que producen tanto la onda expansiva como la calorífica. De todo esto, a pensar en una in-



fluencia *general, directa*, sobre el tiempo o en el clima, media un abismo. La que nos parece colosal energía atómica es todavía totalmente insuficiente para provocar acciones de gran envergadura sobre la atmósfera, *directamente*. Una buena, pero simple cadena de tormentas de verano supone mayor acopio previo y mayor dispendio posterior de energía que bastantes bombas atómicas juntas. Lo que pasa es que hacen menos ruido y no tienen tan horribles consecuencias. La bola de fuego de la explosión nuclear alcanza una temperatura de miles de grados; pero la extensión del foco calorífico es reducidísima, en comparación con las dimensiones de la atmósfera terrestre. En efecto es comparable al que produce el arrojar una caja de fósforos en el hogar de una locomotora: se produce una súbita inflamación en donde cae la cajita, aumentan indudablemente las calorías de la caldera, pero sería imposible de notar que la locomotora tire con más fuerza ni ande más deprisa.

Queda el tercer efecto: el radiactivo. Su influencia *directa* en la dinámica general de la atmósfera es totalmente nula. Su acción sobre el hombre y su posible acción *retardada* sobre los climas puede ser importante y está ligada a determinados fenómenos y factores meteorológicos. Por ello vamos a tratarla aquí.

LA LLUVIA RADIACTIVA

En íntima relación con los vientos dominantes en la alta atmósfera está la lluvia radiactiva. Ésa que hirió de muerte, en lo interior de su circulación sanguínea, a ciertos pescadores japoneses mucho después de acabada la Segunda Guerra Mundial.

En una bomba «A», cuya potencia se mide en kilotones (miles de toneladas de trilita), la cima del «hongo» que resulta de la explosión alcanza, como máximo, diez o doce kilómetros de altura. Todo su cuerpo queda, pues, dentro de la troposfera, o región del tiempo bueno o malo.

Las partículas radiactivas son arrastradas hacia lo alto, desde donde caen por su propio peso, al mismo tiempo que los vientos las arrastran. Esta caída constituye la *precipitación radiactiva local*, que se extiende sobre un área alargada que incluye unos cuantos kilómetros alrededor del punto de explosión y se alarga, además, en la dirección de los vientos dominantes en altura, hasta cubrir una superficie de forma *apepinada*, en la que el

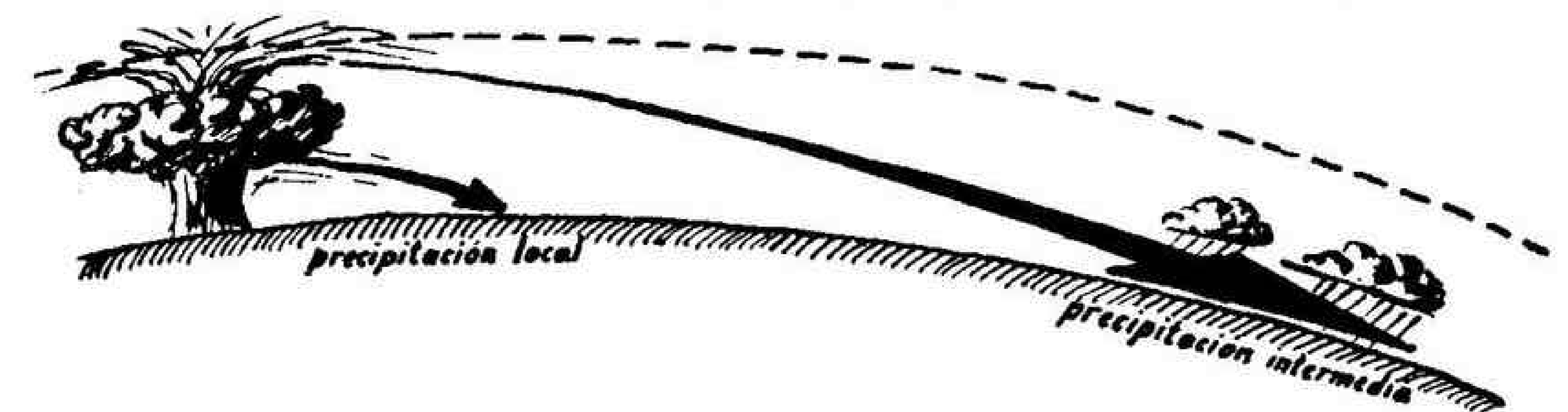


punto de explosión queda casi en un extremo. El otro extremo queda a una distancia máxima del foco de unos centenares de kilómetros, según la velocidad con que soplen los vientos de altos niveles, ya que son éstos los que arrastran las partículas y las alejan del foco en dirección horizontal.

La previsión de las áreas que se contaminarán, así como de la hora en que comenzará la precipitación radiactiva sobre ellas, es eminentemente meteorológica. No voy a hablarles aquí de ella, por ser excesivamente técnica. Básteles saber que el predictor maneja dos tipos de *datos:* la velocidad de caída propia del polvo radiactivo y los vientos en altura entre el lugar de la explosión y la región a la que el pronóstico se refiere.

Veamos ahora cómo se comporta una *superbomba* de las llamadas «H» o bombas de hidrógeno. Su potencia se mide en *megatones*, o sea, en millones de toneladas de trilita.

En este caso, el clásico «hongo» es mucho más alto. Alcanza hasta los 20 ó 25 kilómetros de altura. Es decir, penetra profundamente en la estratosfera. En esta parte de la atmósfera no hay apenas movimientos verticales, aunque sí fuertes vientos hori-

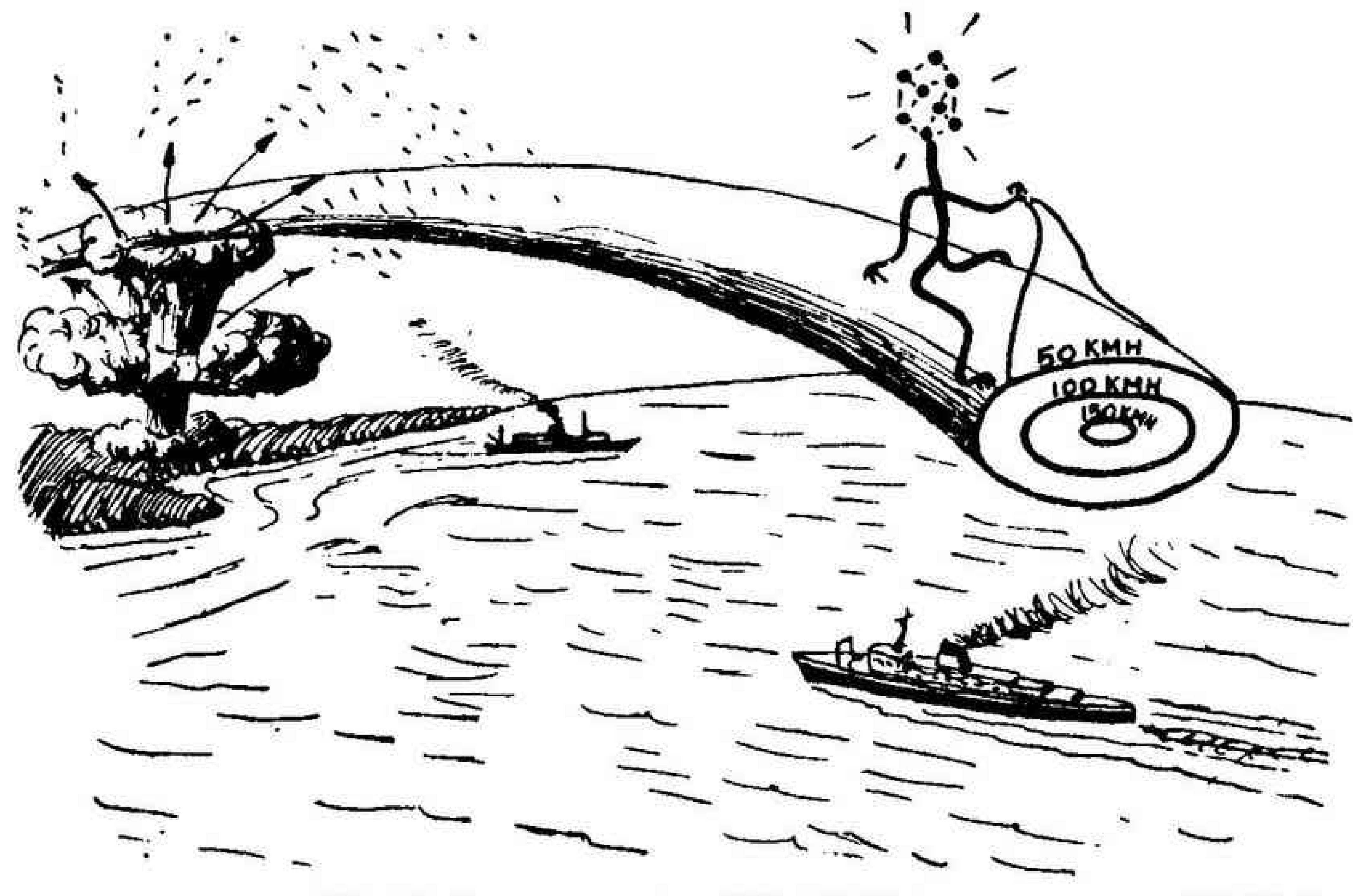


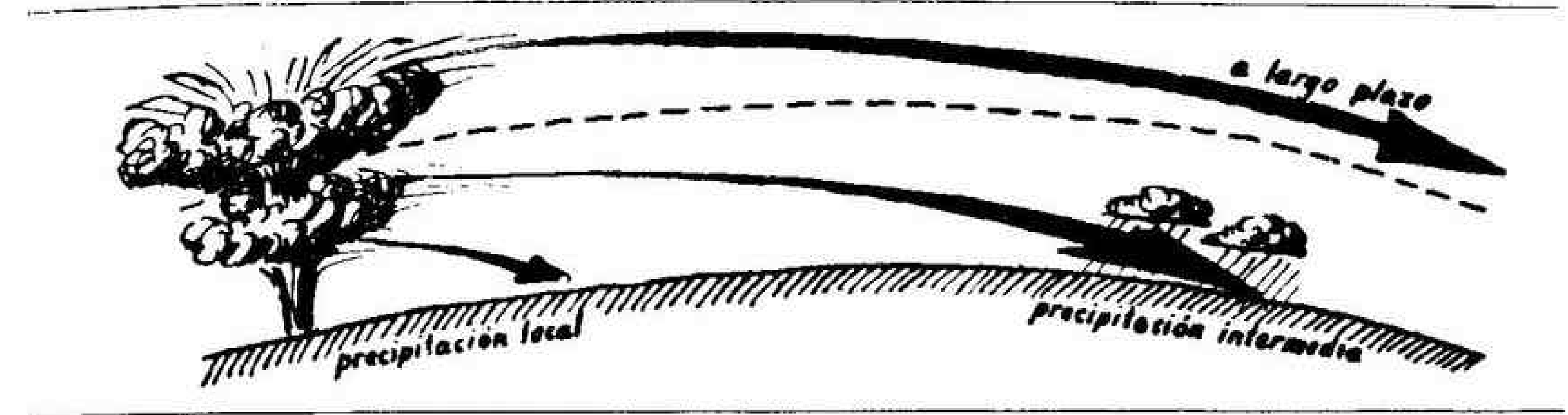
zontales. Recuerden que la corriente en chorro coincidía con el nivel de su base.

Como en el caso de la bomba «A», las partículas radiactivas tienden a caer por su peso. Las hay que se desprenden del «hongo» dentro de la troposfera y su caída es similar a las de la bomba «A». Pero la mayor parte son despedidas en la estratosfera. De estas últimas, las más pesadas inician una lenta caída, al mismo tiempo que los fuertes vientos las arrastran lejos del lugar de la explosión; cuando logran entrar en la troposfera, caen hacia tierra igual que las anteriores. El tiempo invertido en llegar al suelo es, en total, considerablemente mayor, contándose incluso por semanas. Es lo que se llama *precipitación radiactiva intermedia.* Generalmente es la corriente en chorro el vehículo en que cabalgan estas partículas desde que tuvo lugar la explosión hasta poco antes de caer a la superficie terrestre.

Las partículas ligeras tardan muchísimo más tiempo en caer. Meses. Años incluso sólo para llegar a la tropopausa, o sea, al límite superior de la *frontera del tiempo*.

Es decir, que a más de 11.000 metros sobre nosotros existe una capa de polvo radiactivo, resultado de las explosiones ex-





perimentales de bombas «H» en los últimos tiempos; que iría más y más en aumento de no haberse puesto de acuerdo los EE.UU. y la URSS para suspender las pruebas nucleares.

¿QUÉ PODEMOS ESPERAR DE LAS EXPLOSIONES ATÓMICAS?

Creo haberles llevado al convencimiento de que el efecto *directo* de las bombas atómicas sobre la dinámica y la termodinámica atmosférica es, prácticamente, despreciable. El motivo es —repito— que la energía puesta en juego es muy poca cosa para lograr un efecto apreciable. Es imposible, por ejemplo, que la explosión de una bomba «H» haga nacer una simple y vulgar borrasca, para lo que se necesitaría una cantidad de energía muchísimas veces superior. Claro que en mil novecientos cuarenta y tantos, un científico inglés, de gran talla, dijo —y se consideró un gran atrevimiento— que llegaría un día en que se construyeran bombas nucleares con una potencia equivalente a la de diez millones de toneladas de trilita (diez megatones); y no habían pasado veinte años cuando ya los rusos tenían la de 40 megatones...

De todas formas, las acciones meteorológicas *directas* que puedan producir serán siempre, creemos, de tipo local; *no podríamos observarlas en un mapa del tiempo,* como perturbaciones dibujables.

En cualquier caso, no acaba aquí la cosa: ¡Qué más quisiéramos! Porque todo lo dicho se refiere específica y concretamente a las posibilidades de *acción directa*. Y uno se pregunta: ¿Cabe la posibilidad de una acción *indirecta,* sobre el tiempo o el clima? Creo que sí. Y voy a tratar de razonarlo.

LAS MANCHAS SOLARES

La inmensa mayoría de las explosiones atómicas provocadas por el hombre han tenido lugar, hasta ahora, en el hemisferio norte. Cabría pensar, dado el número grande de pruebas que han tenido lugar en él desde 1945, en un posible calentamiento global al norte del ecuador. Esta sospecha aparece en los hombres, inevitablemente, cada vez que padecemos una primavera, un verano o un otoño excepcionalmente caluroso, o que a nosotros nos parezca que lo es. Sin embargo, hay algo que en seguida suele tranquilizarnos: la estadística climatológica de muchos años atrás, que nos muestra que ya hubo otras ocasiones con tanto o más calor que *ese* año. Y es que siempre ha habido anormalidades climáticas: olas de calor, inundaciones terribles, etcétera. Después de la Primera Guerra Mundial, se achacaban a los disparos del entonces aterrador cañón «Berta», con el que los alemanes bombardearon París. Ahora, con la perspectiva de los años transcurridos, podemos valorar bien lo que aquello podía significar...

Es, sin embargo, lo cierto, que con algunos meses de anticipación a tales anormalidades se ha observado, casi siempre, un aumento en la actividad solar; que se ha puesto de manifiesto en un mayor número de «manchas solares» y en variaciones en nuestra «Ionosfera». ¿En qué consisten y cómo influyen esta especial actividad solar y estas *variaciones* de la Ionosfera?

LA CONSTANTE SOLAR

Prácticamente, toda la energía que llega a nuestra atmósfera procede del Sol, cuya superficie tiene una temperatura de alrededor de los 6.000 grados centígrados, que aumentan hacia el interior hasta alcanzarse los 20 millones de grados centígrados, aproximadamente. La energía que produce y mantiene estas altísimas temperaturas proviene de reacciones en cadena de tipo nuclear, de verdaderas, aunque naturales, explosiones termonucleares millones de veces más potentes que todas las creadas por el hombre juntas; y que ocurren incesantemente en el Sol; al cual le queda combustible —hidrógeno—, según cálculos muy razonables, para unos 50.000 millones de años...

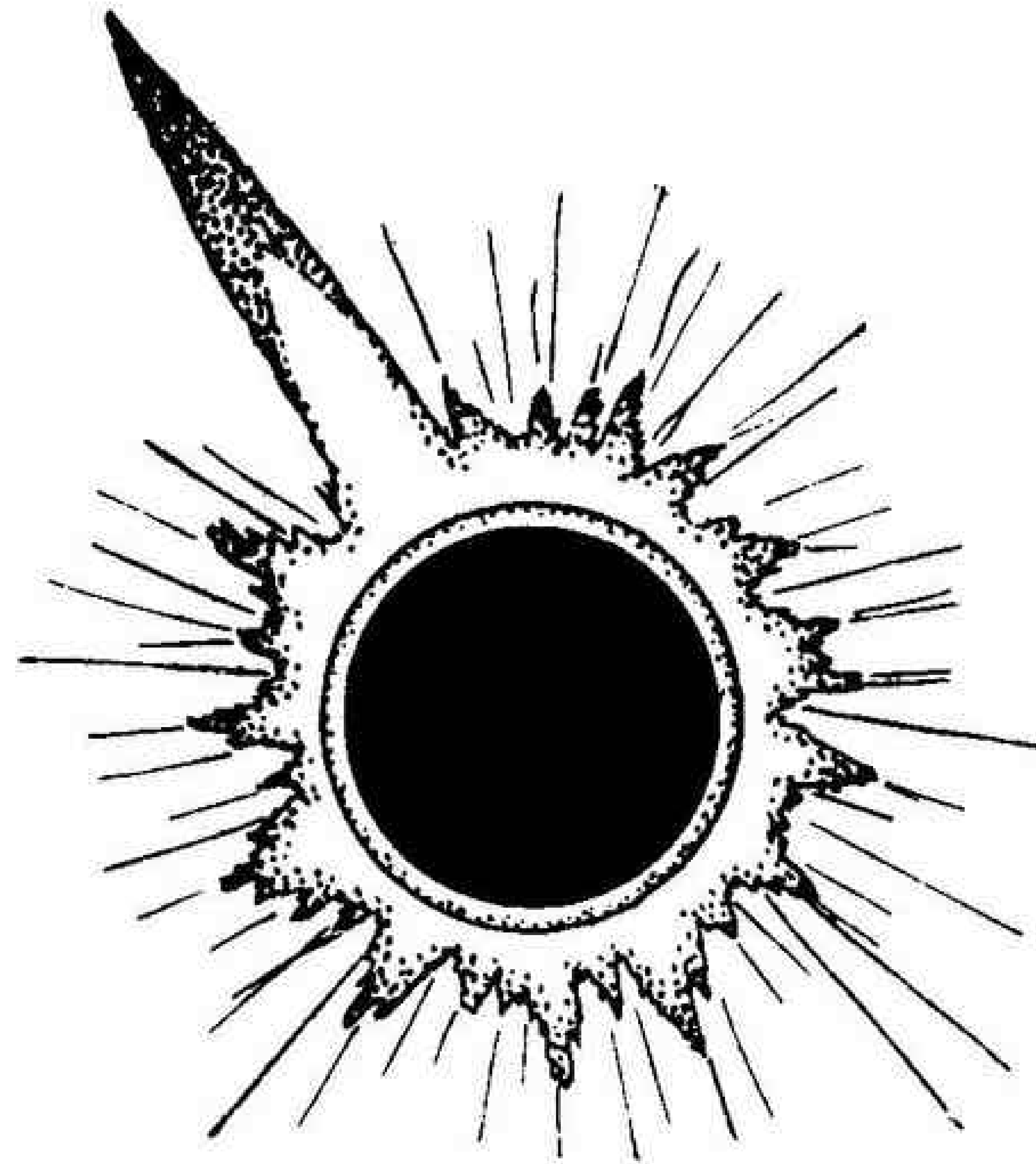
INICIACIÓN A LA METEOROLOGÍA

El número y la intensidad de estas explosiones solares no es siempre el mismo; hay épocas, de mayor actividad, en que aumenta considerablemente, observándose desde la Tierra bajo el aspecto de esas áreas oscuras que se conocen como «manchas solares». ¿Tiene esto algo que ver con nosotros?: sí. A medida que se van haciendo medidas científicas con cohetes, naves espaciales y satélites artificiales, se va convenciendo la humanidad de que no existe el vacío interplanetario; de que, aparte de los meteoritos, existe una atmósfera de gases muy enrarecidos que lo llena todo; hay quien afirma, incluso, que nuestra Tierra queda *dentro de la atmósfera solar*.

Del calor que radia el Sol, alcanzan el límite superior de la atmósfera terrestre, a la distancia media Sol-Tierra, unas dos calorías gramo, escasas, por cada centímetro cuadrado de superficie; exactamente 1,94. Esta cantidad es constante allí donde los rayos llegan perpendiculares a la superficie citada y es menor si llegan inclinados. Tal cantidad de calor, que es prácticamente invariable en las condiciones citadas, se llama la «constante solar». La energía que así nos llega, va siendo *filtrada* por las sucesivas capas atmosféricas, que absorben cada una un poco, hasta llegar al suelo. Lo que llega a éste equivale a una cantidad que oscila entre los 2,5 y los 5 kilovatios-hora, por metro cuadrado de suelo, cada día. Si echan la cuenta, teniendo en cuenta la superficie del globo terráqueo, verán que salen cantidades de fábula. *Esta energía es la que hace funcionar la máquina atmosférica.*

LAS FÁCULAS

La figura siguiente es un esquema de una fotografía de la corona solar, lograda en Norteamérica por P. R. McNally el 31 de agosto de 1932, aprovechando un eclipse especial. En ella se ven prominencias brillantes, emergiendo todo alrededor de la superficie solar, llamadas «fáculas». Son todas poco pronunciadas, excepto una que emerge, muy destacada, hacia la parte superior izquierda. De los estudios realizados parece deducirse que estas fáculas son material de la corona solar expulsado desde determinadas áreas, moviéndose hacia fuera, estrechándose hasta constituir rayos rectilíneos en el exterior de la corona y, ocasionalmente, siendo expelidos hacia el espacio interplanetario.



Cuando alguna de estas fáculas apunta hacia la atmósfera terrestre, llega a las capas más altas tras viajar a una velocidad media de unos 500 kilómetros por hora y provoca en las cercanías de la Tierra «tormentas magnéticas». La sustancia de estas fáculas, a altísimas temperaturas y en un alto estado de radiactividad e ionización, produce variaciones acusadas en la Ionosfera. Y no deja de ser significativo el que, unos meses después, se observen claras anormalidades en la circulación atmosférica.

LA IONOSFERA

Vimos en el capítulo 9 que por encima de la estratosfera, o sea a partir de los 100 kilómetros de altitud, está una tercera parte de nuestra atmósfera que se llama «ionosfera». Y se llama así porque allí la materia no está formada sólo de moléculas corrientes, sino de «iones», que son como moléculas pero con carga eléctrica. Por ello es una atmósfera buena *conductora* de la electricidad, a diferencia de la troposfera y la estratosfera que son aislantes. Esa capa llamada también «capa de Heaviside», en honor de su descubridor, efectúa un importante *filtrado* de la ra-



diación solar que la atraviesa y es la que, muy principalmente, *regula* la cantidad de dicha radiación que entra en las capas más inferiores de nuestra atmósfera. En cuanto varía la cantidad de «iones», o lo que es igual «el estado de ionización» de la Ionosfera, varía también la cantidad y calidad de radiación solar que alcanza la estratosfera y, después, la troposfera donde *se fabrican* el tiempo y el clima.

EL MEOLLO DE LA CUESTIÓN

Es cosa sabida que *la presencia de sustancias radiactivas aumenta la ionización* de los gases, al convertir moléculas en iones. Y ahí, justamente, creemos que está el meollo del problema: en el papel de la Ionosfera y en la capacidad ionizante de las sustancias radiactivas. El terreno es espinoso y un tanto resbaladizo, *porque no se sabe bien qué variaciones introduce la radiactividad artificial en esa capa ionizada*. Lo que creemos no cabe dudar, es que *provoca variaciones*. Y estimamos que éstas, sean como fueren, *deben hacer variar, en la ionosfera, las condiciones de filtrado* de la radiación solar, modificando la canti-

dad y calidad de ésta que llega a la troposfera. Y tal acción, opinamos, puede ser *transitoria* o puede llegar a ser *duradera y progresiva*.

ACCIÓN TRANSITORIA

Las explosiones termonucleares provocadas por el hombre, lanzan partículas radiactivas que, en el caso de la bomba «H» u otras más potentes, pueden alcanzar la ionosfera en mayor o menor cantidad. Y hay la posibilidad de dos efectos: uno, transitorio, de variación repentina de la capacidad de *filtrado* de la ionosfera para la radiación solar, que puede ocasionar algún tiempo después (quizás entre tres y seis meses más tarde), anomalías climáticas transitorias en lugares muy alejados del de la explosión causante de todo este proceso. Esto, no creo que quepa duda que es posible. El otro efecto, puede ser enormemente dilatado en sus consecuencias.

VARIACIÓN SECULAR

Esa otra posibilidad de acción, más duradera y actuando en forma progresiva, cabe también que se produzca sobre la ionosfera, al ir acumulándose lentamente partículas radiactivas en esa capa de la atmósfera superior. Ello será tanto más probable cuanto mayor sea el número de explosiones termonucleares que lleguen a tener lugar en el seno del aire. El cinturón de polvo radiactivo que como una amenaza invisible, como una especie de «espada de Damocles», está sobre nuestras cabezas, circundando nuestro sufrido globo terráqueo a más de 12 kilómetros de altura, podrá afectarnos a nosotros, o a nuestros descendientes, aunque no *directamente* al tiempo ni al clima. Pero si, aunque sea despacísimo, van escapándose hacia arriba partículas radiactivas y llegan a la ionosfera; y si, además, se provocan nuevas y más fuertes explosiones atómicas, que aumenten la cantidad de polvo radiactivo en la estratosfera, puede llegar un momento en que las repetidas condiciones de *filtrado* varíen tanto que originen un cambio esencial en la distribución de las zonas climáticas actuales: la faja de anticiclones tropicales se cambiaría de lugar sobre la superficie de la Tierra; y lo mismo

la posición media y las características de las corrientes en chorro, del frente polar, del intertropical... Los desiertos, las regiones áridas y semiáridas, las de clima húmedo... cambiarían de sitio sobre nuestro planeta. Y si el hombre lograba irse adaptando progresivamente a los más altos valores de la radiactividad ambiente, vería caer civilizaciones y hegemonías de unos países —en el pecado llevarían la penitencia— y alzarse otras en lugares insospechados antes.

Y si dicha adaptación no se lograra, ocurriría que, aun en una atmósfera totalmente radiactiva, donde por la propia insensatez humana ya no pudiera haber hombres, seguiría habiendo distintos climas; continuaría existiendo una circulación general atmosférica; habría anticiclones y borrascas, frentes fríos y cálidos, vientos alisios y ciclones tropicales, como hoy, aunque por distintas rutas.

Claro está que nadie podría representarlos sobre un mapa del tiempo, ni exhibirlos en una pantalla de televisión.

Las grandes potencias y el grado de cordura —o de soberbia— de sus dirigentes, tienen la palabra. Aunque confiamos en que por encima de ellos está el infinito poder, la infinita sabiduría y el infinito amor de Dios.



BIBLIOTECA CIENTÍFICA SALVAT

29. **Sol, lunas y planetas.** Erhard Keppler
30. **Los secretos de una casa.** *El mundo oculto del hogar.* David Bodanis
31. **La cuarta dimensión.** *Hacia una geometría más real.* Rudy Rucker
32. **El segundo planeta.** *El problema del aumento de la población mundial.* U. Colombo y G. Turani
33. **La mente (I).** Anthony Smith
34. **La mente (II).** Anthony Smith
35. **Introducción a la química.** Hazel Rossotti
36. **El envejecimiento.** David P. Barash
37. **Edison.** Fritz Vögtle
38. **La inestable Tierra.** *Pasado, presente y futuro de las catástrofes naturales.* Basil Booth y Frank Fitch
39. **Gorilas en la niebla.** *13 años viviendo entre los gorilas.* Dian Fossey
40. **El espejo turbulento.** *Los enigmas del caos y el orden.* John Briggs y F. David Peat
41. **El momento de la creación.** *Del Big Bang hasta el Universo actual.* James S. Trefil
42. **Dios y la nueva física.** Paul Davies
43. **Evolución.** *Teorías sobre la evolución de las especies.* Wolfgang Schwoerbel
44. **La enfermedad, hoy.** Lluís Daufí
45. **Iniciación a la meteorología.** Mariano Medina


BRIAN SMITH





¿Cómo nace una borrasca? ¿Qué son las líneas isobaras? ¿Es fácil interpretar un mapa meteorológico? ¿Qué es la gota fría? ¿Y la burbuja caliente?
Responder puntualmente a estas preguntas no implica, necesariamente, introducir al lector en una larga lista de términos técnicos, ni tener que recurrir a explicaciones basadas en teorías científicas difíciles.
El autor ha hecho de este libro un precioso instrumento de divulgación con la pretensión de desmitificar las predicciones del tiempo y darle la importancia real que hoy día ocupa la meteorología en todas las actividades humanas, desde la producción de los alimentos hasta la conservación de la vida en sí.

Mariano Medina nació en 1922 en Toledo y a partir de 1965 presentó durante varios años los diversos espacios meteorológicos de Televisión Española. Es profesor del Instituto Nacional de Meteorología y autor de varios libros, entre los que destacan *El tiempo es noticia* y *Teoría de la predicción del tiempo*.

Iniciación a la meteorología
M. Medina
45



Iniciación a la meteorología

Mariano Medina

Biblioteca
Científica
Salvat

ómo nace una borrasca? ¿Qué son las líneas
baras? ¿Es fácil interpretar un mapa
teorológico? ¿Qué es la gota fría?
la burbuja caliente?
sponder puntualmente a estas preguntas
implica, necesariamente, introducir al lector
una larga lista de términos técnicos, ni tener
e recurrir a explicaciones basadas en teorías
ntíficas difíciles.
utor ha hecho de este libro un precioso
rumento de divulgación con la pretensión
desmitificar las predicciones del tiempo
arle la importancia real que hoy día ocupa
neteorología en todas las actividades
nanas, desde la producción de los alimentos
ta la conservación de la vida en sí.

riano Medina nació en 1922 en Toledo
partir de 1963 presentó durante varios años
diversos espacios meteorológicos
Televisión Española. Es profesor del Instituto
ional de Meteorología y autor de varios
os, entre los que destacan *El tiempo
noticia* y *Teoría de la predicción del tiempo*

Iniciación a la meteorología

Iniciación a la meteorología

Mariano Medina



Biblioteca Científica Salvat

¿Cómo nace una borrasca? ¿Qué son las líneas isobaras? ¿Es fácil interpretar un mapa meteorológico? ¿Qué es la gota fría? ¿Y la burbuja caliente?
Responder puntualmente a estas preguntas no implica, necesariamente, introducir al lector en una larga lista de términos técnicos, ni tener que recurrir a explicaciones basadas en teorías científicas difíciles.
El autor ha hecho de este libro un precioso instrumento de divulgación con la pretensión de desmitificar las predicciones del tiempo y darle la importancia real que hoy día ocupa la meteorología en todas las actividades humanas, desde la producción de los alimentos hasta la conservación de la vida en sí.

Mariano Medina nació en 1922 en Toledo y a partir de 1965 presentó durante varios años los diversos espacios meteorológicos de Televisión Española. Es profesor del Instituto Nacional de Meteorología y autor de varios libros, entre los que destacan *El tiempo es noticia* y *Teoría de la predicción del tiempo*.

Iniciación a la meteorología

M. Medina

45



Iniciación a la meteorología

Mariano Medina

Biblioteca Científica Salvat

¿Cómo nace una borrasca? ¿Qué son las líneas isobaras? ¿Es fácil interpretar un mapa meteorológico? ¿Qué es la gota fría? ¿Y la burbuja caliente?
Responder puntualmente a estas preguntas no implica, necesariamente, introducir al lector en una larga lista de términos técnicos, ni tener que recurrir a explicaciones basadas en teorías científicas difíciles.
El autor ha hecho de este libro un precioso instrumento de divulgación con la pretensión de desmitificar las predicciones del tiempo y darle la importancia real que hoy día ocupa la meteorología en todas las actividades humanas, desde la producción de los alimentos hasta la conservación de la vida en sí.

Mariano Medina nació en 1922 en Toledo y a partir de 1965 presentó durante varios años los diversos espacios meteorológicos de Televisión Española. Es profesor del Instituto Nacional de Meteorología y autor de varios libros, entre los que destacan *El tiempo es noticia* y *Teoría de la predicción del tiempo*.

Iniciación a la meteorología
M. Medina
45



Iniciación a la meteorología

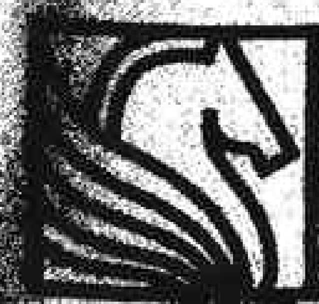
Mariano Medina

Biblioteca
Científica
Salvat

ómo nace una borrasca? ¿Qué son las líneas
baras? ¿Es fácil interpretar un mapa
teorológico? ¿Qué es la gota fría?
la burbuja caliente?
sponder puntualmente a estas preguntas
implica, necesariamente, introducir al lector
una larga lista de términos técnicos, ni tener
recurrir a explicaciones basadas en teorías
ntíficas difíciles.
utor ha hecho de este libro un precioso
trumento de divulgación con la pretensión
desmitificar las predicciones del tiempo
arle la importancia real que hoy día ocupa
neteorología en todas las actividades
manas, desde la producción de los alimentos
ta la conservación de la vida en sí.

riano Medina nació en 1922 en Toledo
partir de 1965 presentó durante varios años
diversos espacios meteorológicos
Televisión Española. Es profesor del Instituto
ional de Meteorología y autor de varios
os, entre los que destacan *El tiempo
noticia* y *Teoría de la predicción del tiempo*.

Iniciación a la meteorología



Iniciación a la meteorología

Mariano Medina

Biblioteca
Científica
Salvat